

Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ingeniería Geológica Minera y Metalúrgica




TESIS

**Estudio de las demoras operativas de la flota de acarreo en
minas a tajo abierto para incrementar la productividad de la
operación**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Minas.


Elaborado por

Jostin Willian Chavez Garibay

 0009-0000-4667-3364

Asesor

MBA. Carmelo Condori Cupi

 0009-0001-9948-1689

LIMA – PERÚ

2023

Citar/How to cite	Chavez Garibay [1]
Referencia/Reference	[1] J. Chavez Garibay, “ <i>Estudio de las demoras operativas de la flota de acarreo en minas a tajo abierto para incrementar la productividad de la operación</i> ”. [Tesis de pregrado]. Lima (Perù): Universidad Nacional de Ingeniería, 2023.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Chavez, 2023)
Referencia/Reference	Chavez, J. (2023). <i>Estudio de las demoras operativas de la flota de acarreo en minas a tajo abierto para incrementar la productividad de la operación</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mis padres, por el gran esfuerzo realizado para brindarme educación de calidad e inculcarme día a día, valores que hoy me permiten ser un excelente persona y profesional.

Agradecimiento

A los docentes de mi alma mater, la Universidad Nacional de Ingeniería, por los conocimientos impartidos y a mis colegas de la facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica que me brindaron su amistad y apoyo en el proceso de formación profesional.

Resumen

La presente investigación está referida al estudio de las demoras operativas en la flota de acarreo en las operaciones minera del tipo cielo abierto. La unidad de análisis puede ser cualquier operación que cuente con el registro y control de demoras de las diferentes flotas tal como carguío, acarreo, perforación y auxiliares.

En las operaciones de gran minería los equipos cuentan con un sistema tecnológico llamado sistema de gestión de flota que permite optimizar las asignaciones entre pala y camión; registra los ciclos de acarreo y las demoras que son ingresadas por el operador del equipo, esto permite realizar cualquier tipo de análisis de producción y de las demoras operativas.

Para el presente estudio, se establece un procedimiento para identificar las demoras con mayor incidencia en la operación y posteriormente realizar el análisis de la información para encontrar, corregir las causas de las demoras y así incrementar la productividad de la flota de acarreo.

Se aplicará el procedimiento elaborado a una mina polimetálica a cielo abierto que trabaja con 29 camiones Caterpillar modelo 797F y 03 palas eléctricas Caterpillar modelo 7495. En dicha mina no se alcanzó la utilización efectiva planeada, debido a la gran cantidad de horas acumuladas en las demoras de falta de operador, cambio de turno y refrigerio. Posterior a aplicar planes de mejora para reducir las demoras de mayor impacto, se logró incrementar la utilización efectiva en 3.81%, 2.60% y 0.72% respectivamente.

Palabras clave - Sistema de gestión de flota, productividad, utilización efectiva y minería a cielo abierto.

Abstract

The present investigation refers to the study of operational delays in the haulage fleet in open pit mining operations. The unit of analysis can be any operation that has the record and control of delays of the different fleets such as loading, hauling, drilling and auxiliaries. In large-scale mining operations, the teams have a technological system called the fleet management system that allows optimizing assignments between shovel and truck; it records the hauling cycles and the delays that are entered by the equipment operator, this allows any type of analysis of production and operational delays to be carried out.

For the present study, a procedure is established to identify the delays with the highest incidence in the operation and later perform the analysis of the information to find and correct the causes of the delays and thus increase the productivity of the haulage fleet.

The elaborated procedure will be applied to an open-cast polymetallic mine that works with 29 Caterpillar model 797F trucks and 03 Caterpillar model 7495 electric shovels. In said mine the planned effective use was not reached, due to the large number of hours accumulated in the delays of lack of operator, shift change and bite. After applying improvement plans to reduce the delays with the greatest impact, effective use was increased by 3.81%, 2.60% and 0.72% respectively.

Keywords - Fleet management system, productivity, effective use and open pit.

Tabla de Contenido

Resumen	v
Abstract	vi
Prólogo	xiii
Capítulo I. Introducción	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 <i>Objetivo General</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos Específicos</i>	4
1.4 Hipótesis	4
1.4.1 <i>Hipótesis General</i>	4
1.4.2 <i>Hipótesis Específicas</i>	4
1.5 Metodología	4
Capítulo II. Fundamento teórico y conceptual.	6
2.1 Operación minera a tajo abierto	6
2.1.1 <i>Operaciones Unitarias</i>	7
2.1.2 <i>Modelo Conceptual de Procesos</i>	8
2.1.3 <i>Descripción de las Operaciones Unitarias</i>	9
2.2 Sistema de gestión de flota	17
2.2.1 <i>Modelos Matemáticos</i>	18
2.3 Cat Minestar	21
2.3.1 <i>Fleet</i>	21
2.3.2 <i>Terrain</i>	22
2.3.3 <i>Detect</i>	22
2.3.4 <i>Health</i>	23
2.3.5 <i>Command</i>	24
2.4 Minestar fleet	25
2.4.1 <i>¿Qué es el Cliente Fleet?</i>	25
2.5 Ciclo Pala - Camión	26
2.5.1 <i>Actividades del Camión</i>	27
2.5.2 <i>Actividades de la Pala Eléctrica</i>	28
2.6 Distribución de tiempos	28
2.6.1 <i>Horas totales (HT)</i>	29
2.6.2 <i>Horas disponibles del equipo (HD)</i>	29

2.6.3	<i>Horas del equipo malogrado (HM)</i>	29
2.6.4	<i>Horas del equipo operativo (HR)</i>	30
2.6.5	<i>Demoras (D):</i>	30
2.6.6	<i>Reserva (SB)</i>	31
2.7	Indicadores	32
2.7.1	<i>Disponibilidad Mecánica</i>	32
2.7.2	<i>Utilización</i>	32
2.7.3	<i>Utilización efectiva</i>	32
2.8	Productividad.....	32
2.8.1	<i>Productividad Teórica</i>	33
2.8.2	<i>Productividad Promedio</i>	33
2.8.3	<i>Productividad máxima por hora</i>	34
2.8.4	<i>Eficiencia de operación (%Eff.)</i>	34
2.9	Procedimiento de análisis de demoras en una operación minera a tajo abierto.	35
Capitulo III. Cálculos y aplicaciones.....		37
3.1	Estudio de Demoras.....	37
3.2	Estudio de Reservas	40
3.3	Estudio de los estados de Demoras y Reservas.....	40
3.4	Productividad inicial.....	43
3.5	Planes de Mejora.....	47
3.5.1	<i>Plan de Mejora - Falta de operador</i>	48
3.5.2	<i>Plan de Mejora - Refrigerio</i>	54
4.1	Análisis de los planes de mejora.....	59
4.1.1	<i>Resultados del plan de mejora para reducir la demora Falta de Operador</i>	59
4.1.2	<i>Resultados del plan de mejora para reducir la demora Cambio de Turno..</i>	60
4.1.3	<i>Resultados del plan de mejora para reducir la demora Refrigerio</i>	61
4.1.4	<i>Incremento de la Productividad</i>	62
4.2	Análisis gráfico de resultados.....	67
4.2.1	<i>Costo total VS. Incremento de utilización</i>	67
4.2.2	<i>Utilidad VS. Incremento de Utilización</i>	67
Conclusiones		69
Recomendaciones		70
Referencias bibliográficas		71
Anexos		1

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 3.1: Datos de los estados de demora y reserva registrados en el sistema de gestión de flota	38
Tabla 3.2: Lista de demoras con mayor número de horas durante el año 2020	39
Tabla 3.3: Reserva con el mayor número de horas durante el año 2020	40
Tabla 3.4: Lista de demoras y reservas con el mayor número de horas durante el año 2020.....	41
Tabla 3.5: : Productividad de la flota de acarreo CAT 797F por origen de carguío durante el año 2020.....	44
Tabla 3.6: Costos de operación en la operación minera en estudio	47
Tabla 3.7: Valores de la planta metalúrgica en la operación minera en estudio	48
Tabla 3.8: Producción operativa por hora de la flota de acarreo Caterpillar 797F en el año 2020.....	48
Tabla 3.9: Disponibilidad mecánica de la chancadora en el año 2020	48
Tabla 3.10: Horas acumuladas por mes con el estado falta de operador	48
Tabla 3.11: Número de camiones promedio por día con el estado falta de operador	49
Tabla 3.12: Inversión del plan de mejora para reducir el estado falta de operador en la flota de acarreo.....	50
Tabla 3.13: Perdida de producción de la mina debido al estado de reserva falta de operador	50
Tabla 3.14: Reducción de las horas totales con el estado falta de operador luego de implementar el plan de mejora.....	51
Tabla 3.15: Horas acumuladas por mes con la demora cambio de turno	51
Tabla 3.16: Número de camiones promedio por día con la demora cambio de turno	52
Tabla 3.17: Inversión del plan de mejora para reducir la demora cambio de turno en la flota de acarreo.....	53
Tabla 3.18: Perdida de producción de la mina debido a la demora Cambio de turno	53
Tabla 3.19: Reducción de las horas totales con la demora cambio de turno luego de implementar el plan de mejora.....	54
Tabla 3.20: Horas acumuladas por mes con la demora de cambio de turno	54
Tabla 3.21: Tiempo promedio de refrigerio en la mina donde se realizó el estudio	55
Tabla 3.22: Detalle de las actividades durante el refrigerio de los operadores en el turno día	56
Tabla 3.23: Detalles de las actividades durante el refrigerio de los operadores en el turno noche.....	56
Tabla 3.24: Inversión del plan de mejora para reducir la demora refrigerio en la flota de acarreo	57
Tabla 3.25: Perdida de producción en la mina debido a la demora refrigerio	57

Tabla 3.26: Detalle de las actividades en el refrigerio luego de implementar el plan de mejora	58
Tabla 3.27: Reducción de las horas totales con la demora refrigerio luego de implementar el plan de mejora	58
Tabla 4.1: Utilidad del Plan de mejora para reducir el estado falta de operador.....	60
Tabla 4.2: Relación beneficio-costos del plan de mejora para reducir el estado falta de operador	60
Tabla 4.3: Utilidad del plan de mejora para reducir la demora Cambio de Turno	61
Tabla 4.4: Relación beneficio-costos del plan de mejora para reducir la demora cambio de turno	61
Tabla 4. 5: Utilidad del plan de mejora para reducir la demora refrigerio.....	62
Tabla 4.6: Relación beneficio-costos del plan de mejora para reducir la demora refrigerio.....	62
Tabla 4.7: Productividad de la flota de acarreo CAT 797F por origen de carguío luego de la implementación de los planes de mejora	63

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 2.1: Operación minera a tajo abierto en el Perú	7
Figura 2.2: Distribución de los Costos en las operaciones a tajo abierto.....	8
Figura 2.3: Esquema del Modelo de Operaciones Unitarias.....	8
Figura 2.4: Perforadora Atlas Copco PV-351	10
Figura 2.5: Perforadora Caterpillar MD-6640	11
Figura 2.6: Malla de perforación del proyecto 4545_04022 en mina a tajo abierto.....	12
Figura 2.7: Diseño de carga del proyecto 4500_04018 en mina a tajo abierto	14
Figura 2.8: Pala Eléctrica Caterpillar 7495	16
Figura 2.9: Camión Caterpillar 797F	17
Figura 2.10: Proceso de carguío en mina a tajo abierto	17
Figura 2.11: Modelos matemáticos utilizados por un sistema de gestión de flota.....	18
Figura 2.12: Mejor ruta desde un equipo de carguío hacia la chancadora	19
Figura 2.13: Monitor de progreso de viajes del sistema de gestión de flota	19
Figura 2.14: Secuencia para que un camión reciba asignación en un sistema de gestión de flota.....	20
Figura 2.15: Datos de entrada requeridos para cada modelo matemático	21
Figura 2.16: Sistema de alta precisión Terrain	22
Figura 2.17: Sistema de detección de objetos y/o equipos Detect	23
Figura 2.18: Transferencia de datos de los equipos CAT a la oficina – Sistema Health ..	23
Figura 2.19: Sistema de camiones autónomos Command de Caterpillar	24
Figura 2.20: Plataforma de solución tecnológica Minestar	24
Figura 2.21: Ventana Monitor de Sitio en Minestar Fleet.....	26
Figura 2.22: Ventana monitor de viajes en Minestar Fleet	26
Figura 2.23: Actividades del ciclo del camión en el sistema de gestión de flota Minestar Fleet	27
Figura 2.24: Actividades del ciclo de la pala eléctrica en el sistema de gestión de flota Minestar Fleet.....	28
Figura 2.25: Distribución de tiempos en la operación minera analizada	28
Figura 2.26: Eficiencia en una operación minera	35
Figura 3.1: Horas totales acumuladas por demora durante el año 2020	39
Figura 3.2: Horas totales acumuladas por reserva durante el año 2020	40
Figura 3.3: Horas totales acumuladas por demoras y reservas durante el año 2020	41
Figura 3.4: Utilización efectiva de la flota de acarreo Caterpillar 797F durante el 2020...	42
Figura 4.1: Costo total del plan de mejora e incremento de la utilización efectiva en la flota de acarreo Caterpillar 797F.....	67

Figura 4.2: Utilidad del plan de mejora e incremento de la utilización efectiva en la flota de acarreo Caterpillar 797F 68

Prólogo

La tesis presenta el estudio de las diferentes variables que impactan en las principales demoras en la flota de acarreo de una operación minera a tajo abierto.

A lo largo de los capítulos se encontrara una breve descripción de la operación que se desarrollan en las minas, los equipos que se utilizan, el método de minado y los principales retos de la operación, además podrá comprender el análisis realizado para identificar las demoras y/o reservas que han acumulado la mayor cantidad de horas durante un año de operación, los planes de mejora son posibles de aplicar de acuerdo a la operación y los resultados que pueden obtenerse, como el incremento de la utilización efectiva y por lo tanto de la productividad de la flota de acarreo.

Se plantea un procedimiento didáctico para el análisis de las demoras y reservas en cualquier operación minera a cielo abierto.

Este trabajo de investigación servirá a los ingenieros de control de producción y operaciones mina como guía y referencia de como poder hace uso de los datos registrados por el sistema de gestión de flota.

Capítulo I. Introducción

1.1 Generalidades

En las operaciones mineras a tajo abierto se tiene trabajando a un gran número de equipos, dividido en categorías, tal como equipos de carguío, acarreo y auxiliares. El área de planeamiento mina – servicios técnicos será el encargado de realizar la mejor selección entre los equipos de carguío y acarreo, dicha decisión se verá influenciado por el tipo de yacimiento mineral a explotar. Por ejemplo, en un yacimiento de oro a diferencia de un depósito de cobre, tendrá mayor importancia la selectividad del minado.

Una vez puesto en marcha la operación minera, la empresa adquiere diferentes herramientas tecnológicas para el control y optimización de la operación, entre ellos se cuenta con un sistema de gestión de flota que tiene como función principal optimizar las asignaciones de los camiones a los equipos de carguío para obtener la máxima producción, además permite el registro de los ciclos por cada camión de acarreo, tiempo operativo, demoras que los operadores y/o controlador ingresan en los equipos.

Actualmente en el Perú, existen 4 proveedores de sistema de gestión de flota, los cuales son similares en funcionamiento, ya que tienen como base los siguientes modelos matemáticos:

- Mejor ruta (MR)

- Programación lineal (PL)
- Programación dinámica. (PD)

Actualmente en las operaciones mineras a tajo abierto se tiene dos escenarios identificados:

1) El primer escenario son las operaciones de mediana minería que no cuentan con un sistema de gestión de flota estructurada y estandarizada. Por lo tanto, los registros de los ciclos y demoras son ingresados y elaborados manualmente por los operadores y recopilado por un controlador.

2) El segundo escenario son las operaciones de gran minería que cuentan con un sistema de gestión de flota y llevan el registro automático de los ciclos y demoras en los equipos de producción. El análisis de los datos y posterior caracterización e identificación de las variables de impacto en las demoras operativas son muy pobres.

1.2 Descripción del problema de investigación

Las minas cuentan con un moderno sistema de gestión de flota que permite el registro automático de las demoras ingresadas por cada operador en los equipos de producción, brindando a la operación minera grandes volúmenes de información. Pero, se tiene deficiencias para realizar el análisis que permite identificar la causa principal de las demoras, en esta parte se encuentra la oportunidad de mejora.

En las operaciones mineras, con el objetivo de tener un mejor control. es necesario modificar el modelo de tiempos que usualmente se utiliza, por lo que se ha visto conveniente clasificar el registro de tiempos en 05 categorías:

- Tiempo Efectivo
- Tiempo Demora
- Tiempo Reserva
- Tiempo Mantenimiento
- Tiempo no programado o fuera del plan

Para el registro de los estados en los equipos de la operación se tiene 04 categorías:

- Demora
- Malogrado
- Reserva
- Tiempo No Programado

Durante el año 2020 no se alcanzó la utilización efectiva planeada en la flota de acarreo Caterpillar 797F, el objetivo fue 76.63% y como resultado se obtuvo 69.44%, si bien dicho valor ha sido influenciado en una parte por el contexto global de la pandemia COVID-19, es una práctica importante conocer el tiempo acumulado por categoría y estado de las demoras.

Existe una gran oportunidad de realizar el análisis de la información debido a los grandes volúmenes de datos registrados disponibles, el primer paso del análisis es conocer las demoras que se encuentran en cada categoría (Demora, Reserva, Mantenimiento y Fuera de Plan), luego identificar las principales demoras en la flota de acarreo, posteriormente se podrá elaborar un plan para la reducción de estas demoras obteniendo como resultado un incremento de la productividad y utilización efectiva de los equipos en la operación minera, por lo mencionado anteriormente existe la necesidad de contar con el departamento de control de producción e inteligencia de negocios, ellos serán los encargados de analizar toda la información recolectada por el sistema de gestión de flota, generar reportes diarios automáticos, elaborar indicadores que contribuyan a la operación, validar y asegurar la calidad de la información.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar el incremento de la productividad de la operación al reducir las demoras operativas de la flota de acarreo en minas a tajo abierto.

1.3.2 *Objetivos Específicos*

- Determinar el porcentaje de reducción de las demoras como consecuencia del análisis de las demoras operativas.
- Evaluar el impacto económico que genera el análisis de las demoras en la flota de acarreo.
- Evaluar el incremento de la utilización efectiva en la flota de acarreo
- Simular los resultados anuales que se podrían obtener como resultado del análisis de las demoras operativas.

1.4 Hipótesis

1.4.1 *Hipótesis General*

- El análisis de las demoras operativas permitirá incrementar la productividad de la flota de equipos de acarreo en minas a tajo abierto.

1.4.2 *Hipótesis Específicas*

- La reducción de las demoras operativas influye directamente en la productividad del equipo, lo cual disminuye el costo por tonelada movida
- .La reducción del costo por tonelada movida incrementa el beneficio económico de la empresa y por lo tanto es posible invertir en proyectos de mejora que harán sostenible la reducción de las demoras operativas en la flota de acarreo.
- Al tener un menor costo por tonelada movida, el valor del cut-off grade se verá afectado, como se sabe un menor valor de cut-off grade permitirá evaluar la posibilidad de incrementar las reservas con mineral de baja ley.

1.5 Metodología

La metodología de investigación del trabajo en mención se realizó siguiendo los lineamientos de una investigación descriptiva a nivel correlacional y mediante el método cuantitativo.

Tipo de investigación: Cuantitativa

Se realiza una investigación cuantitativa, ya que en el presente trabajo se utiliza información del tipo cuantitativo y una gran cantidad de cálculos.

Diseño de investigación: Experimental

El diseño de investigación es experimental debido a que se realiza la implementación de planes de mejora modificando el método tradicional de trabajo.

Nivel de investigación: Correlacional

El nivel de investigación es correlacional debido a que en el desarrollo del presente se mide el grado de relación existente entre dos o más variables. Además, la influencia y relación entre la operación minera y su rentabilidad.

Capítulo II. Fundamento teórico y conceptual.

2.1 Operación minera a tajo abierto

Se conoce como minería a cielo abierto, a aquellas operaciones mineras, que se desarrollan en la superficie del terreno, a diferencia de la minería subterránea. La minería a cielo abierto se aplica cuando los depósitos de mineral se encuentran cerca de la superficie. Se emplean medios mecánicos o explosivos para remover el material que recubre o rodea la formación geológica que forma al yacimiento, o banco de materiales. Este material se denomina, genéricamente, estéril, mientras que a la formación a explotar se le llama mineral. El estéril excavado es necesario depositarlo en un botadero fuera del área final que ocupará la explotación, con vistas a su utilización en la restauración de la mina

Antes de iniciar cualquier proyecto de extracción de materiales, se deberá revisar y considerar el cumplimiento de la normativa en las diversas materias: fiscal, laboral, de seguridad y salud ocupacional, realizando también, el estudio de impacto ambiental, y presentarlo para su evaluación ante las autoridades competentes, quienes se encargarán de establecer las medidas de restauración, recuperación, sostenimiento y mantenimiento para amortiguar el impacto ambiental de la actividad extractiva.

Las minas a cielo abierto son económicamente rentables cuando los yacimientos afloran en superficie, se encuentran cerca de la superficie, con un recubrimiento pequeño

o la competencia del terreno no es estructuralmente adecuada para trabajos subterráneos. Cuando la profundidad del yacimiento aumenta, la ventaja económica del cielo abierto disminuye en favor de la explotación mediante minería subterránea.

Figura 2.1

Operación minera a tajo abierto en el Perú



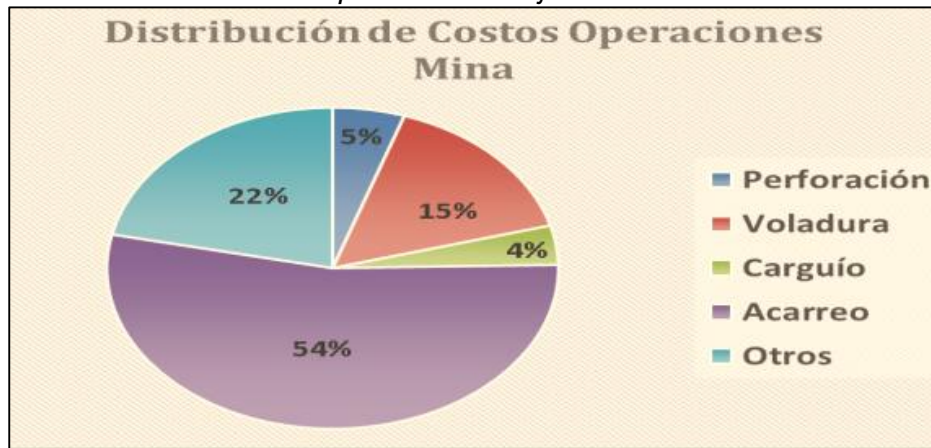
Nota: Adaptado de (Wikimedia. 2023)https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/c/c6/Bingham_mine_5-10-03.jpg

2.1.1 Operaciones Unitarias

Las actividades de producción pueden ser separadas en operaciones unitarias independientes que realizadas en cierta secuencia permiten la explotación y el desarrollo de una mina. Aquellas que serán descritas en el presente trabajo, en base a los recursos que consumen, son aquellas destinadas a la explotación del mineral de cobre. Estas son: perforación, voladura, carguío y acarreo. Cada una de estas actividades queda bien definida, en la operación, por las diferentes funciones que cumple en la cadena de producción, por los equipos utilizados y los insumos consumidos en su desarrollo. La imagen a continuación muestra la distribución del costo de las operaciones mina respecto a las actividades que los originan.

Figura 2.2

Distribución de los Costos en las operaciones a tajo abierto



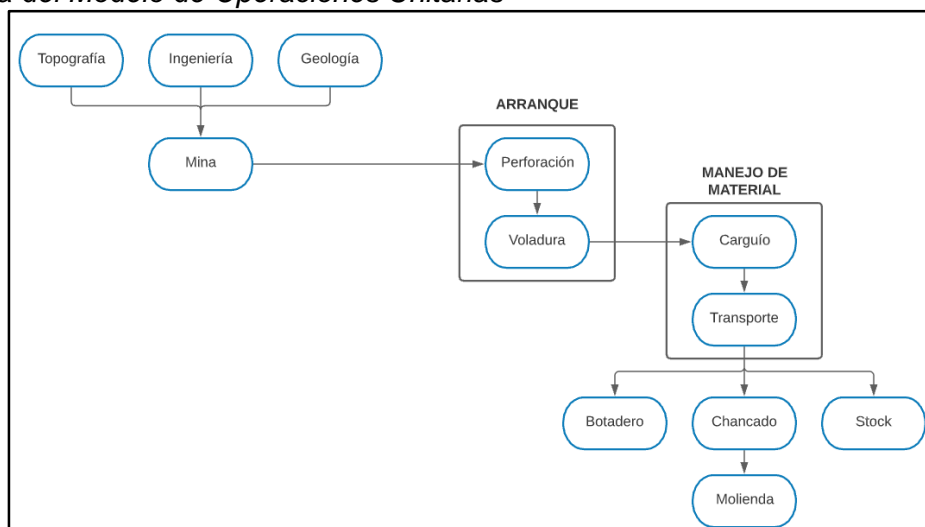
Fuente: Brian, V. (2019). Optimización de la productividad de acarreo de desmonte mediante implementación de fajas trasportadoras y chancadoras utilizando la simulación con el software Minehaul en la compañía minera Antamina S.A. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. Moquegua. Perú.

2.1.2 Modelo Conceptual de Procesos

Los recursos son utilizados en función de la ejecución del proceso, es decir, son dependientes del proceso; fluyen en proporción a éstos, son asignados a cada actividad u operación unitaria y pueden ser modelados respecto a variables del proceso y expresados como funciones. La literatura sugiere que cerca del 55% de los costos totales de procesar material guarda relación con el consumo de recursos proceso-dependientes. La figura a continuación ejemplifica el proceso de extracción y conminución de mineral de cobre mostrando las operaciones unitarias.

Figura 2.3

Esquema del Modelo de Operaciones Unitarias



Nota: Fuente elaboración propia

Las características del yacimiento y la ingeniería definen la forma en que éste será explotado. En base a esto se diseñan las mallas de perforación y la voladura con la finalidad de separar el mineral del estéril. Este material volado debe ser transportado a su disposición siguiente que es función de las características de la roca (Ley, alteración y contaminantes). Si el mineral es explotable con beneficio económico, pasará a la etapa de chancado donde se reduce de tamaño y dependiendo de la naturaleza del mineral se lleva a molienda donde se convierte en una pulpa que será concentrada mediante procesos hidrometalúrgicos. Cada una de las etapas del proceso productivo genera productos que serán valores de entrada para la siguiente etapa, razón por la cual es necesario diseñar las etapas productivas teniendo en cuenta una serie de características del mineral, tanto como producto de entrada como de salida, para asegurar la eficiencia de cada actividad y su impacto en las siguientes etapas del proceso productivo. Para conocer en qué se gasta, dónde y cuánto, es prudente definir una categorización de recursos proceso-dependientes como se muestra a continuación:

- **Insumos:** Su consumo es generado por una necesidad directa del proceso productivo. Son consumidos en la operación (diésel, energía eléctrica, explosivos, etc.).
- **Recursos:** Sirven al proceso en actividades de producción o de apoyo (máquinas, equipos, herramientas, etc.). Su consumo es derivado de su utilización y el desgaste que ello implica.
- **Dotación:** Mano de obra utilizada en la operación de cada actividad productiva (operadores y supervisores).

2.1.3 Descripción de las Operaciones Unitarias

Se definen a continuación las operaciones unitarias en base a las actividades que se llevan a cabo en su operación, los equipos utilizados y los principales recursos consumidos.

2.1.3.1 Perforación. Esta operación es la que da inicio al proceso productivo en una faena minera. En la mayoría de los casos, se realiza esta actividad perforando taladros cilíndricos en la roca para insertar y detonar material explosivo con la finalidad de fragmentar y separar los minerales desde la corteza terrestre. En el contexto de explotación minera, en la actualidad, se utilizan exclusivamente sistemas de perforación que se basan en la aplicación de energía mediante métodos mecánicos. La aplicación de energía mecánica para penetrar la roca se puede efectuar básicamente mediante dos acciones; percusión y rotación.

La operación minera para estudiar cuenta con 5 perforadoras eléctricas de rotación, se perforan taladros de 15 metros y 12 ¼" de diámetro. Las perforadoras son:

- 03 perforadoras eléctricas Atlas Copco – PV351

Figura 2.4

Perforadora Atlas Copco PV-351



Nota: Adaptado de Epiroc, 2023 (<https://www.epiroc.com/es-bo/products>).

- 02 perforadoras eléctricas Caterpillar – MD6640

Figura 2.5

Perforadora Caterpillar MD-6640

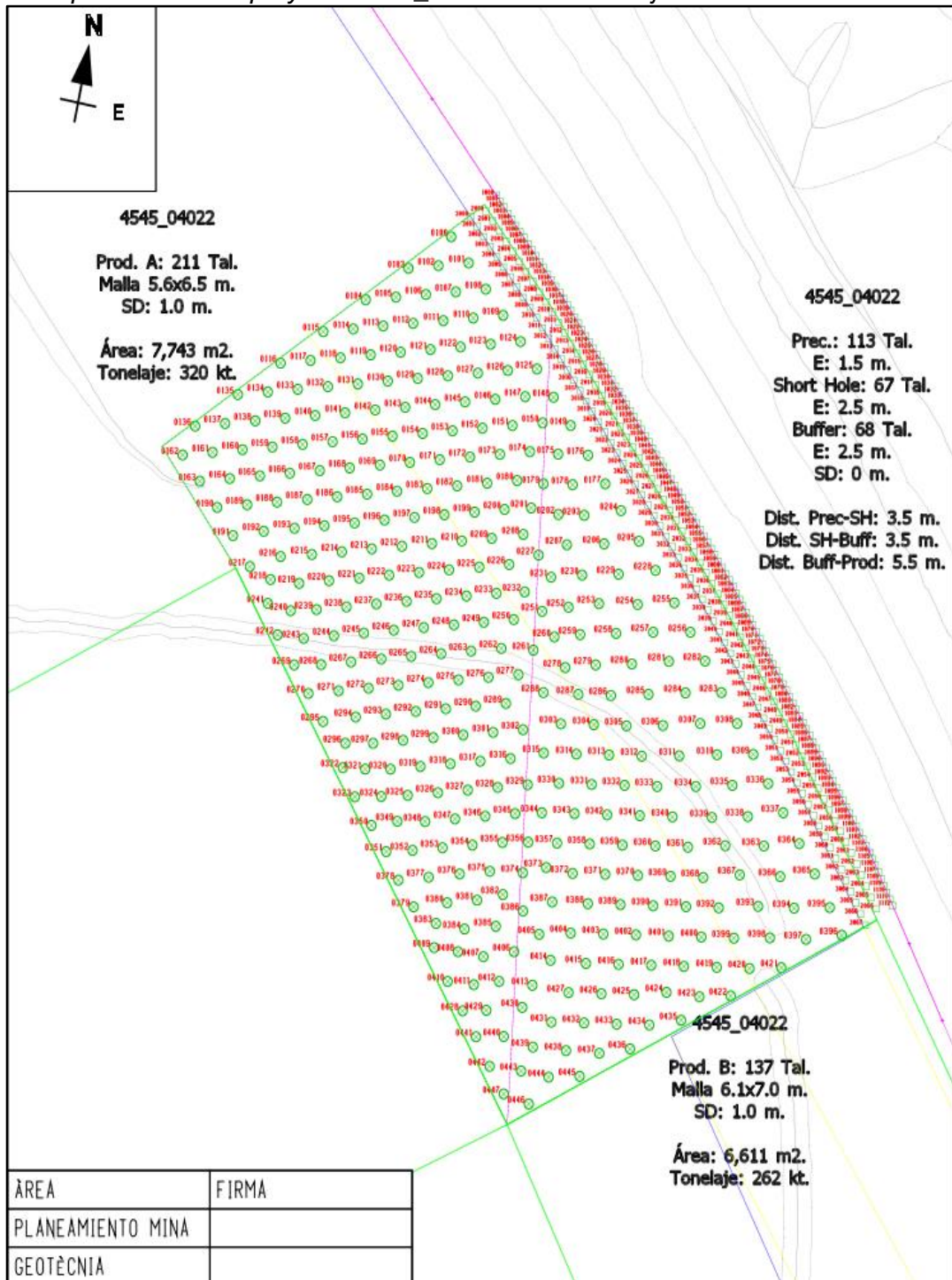


Nota: Adaptado de (Matco. 2023) <https://www.matco.com.mx/producto-nuevo/mineria/perforadoras/nuevo/md6640>

El número de taladros a perforar, la ubicación y características de cada uno de estos, respecto a los otros, definen una malla de perforación. Las perforaciones en el banco deben realizarse a distancias regulares entre sí, generalmente *entre 8 y 12 m* y de manera que atraviesen toda la altura del banco para que, al introducirse los explosivos, la detonación permita fragmentar la roca. Por lo tanto, cada taladro queda definido por su longitud, su diámetro y su inclinación. Estas características dependen de las especificaciones propias de cada operación minera las cuales deben guardar relación con las características de la roca, la infraestructura de la mina y los equipos disponibles.

Figura 2.6

Malla de perforación del proyecto 4545_04022 en mina a tajo abierto



Nota: Fuente elaboración propia

2.1.3.2 Voladura. El primer proceso de conminución que se aplica al material es la voladura, por lo que su éxito permitirá realizar un buen manejo de este material por parte de los procesos posteriores (carguío, transporte, chancado, por ejemplo). El proceso de voladura consiste en cargar con explosivos los taladros generados en la perforación, con el objetivo de fragmentar la roca a tamaños manejables por los equipos mineros. La fragmentación de rocas requiere de aplicación de energía, la cual se obtiene, en casi todos los casos, a partir de una reacción química resultante de hacer detonar cargas explosivas insertas en el macizo rocoso. El material volado debe cumplir con una granulometría y una disposición espacial apta para los posteriores procesos asociados. La granulometría dependerá de las características de la roca y de la energía aplicada sobre ella, por lo que si deseamos una granulometría fina debemos utilizar mayor cantidad de recursos (explosivos) o aumentar el factor de carga en el diseño de la voladura.

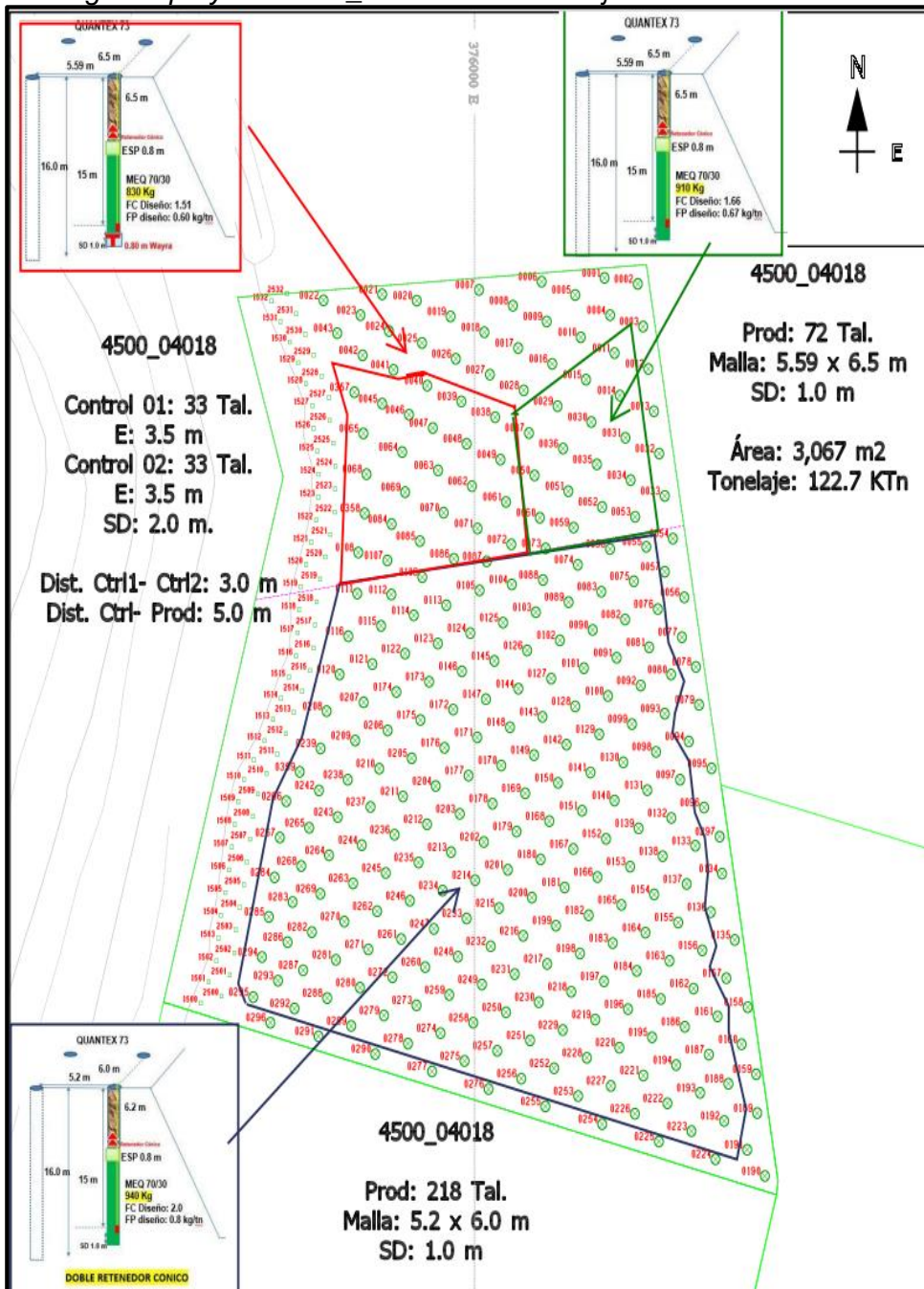
La detonación de todos los explosivos industriales produce una gran cantidad de gases como también pequeñas cantidades de residuos sólidos. Entre los gases que se forman siempre existe una cierta proporción variable de gases tóxicos, tales como el Monóxido de Carbono (CO) y Óxidos de Nitrógeno (N_2O , NO, NO_2 y NO_3). En las minas a tajo abierto este problema no tiene mayor relevancia, pero de igual forma debe ser monitoreado. El CO es un compuesto ávido de oxígeno, de modo que al ser inhalado se transfiere en los pulmones a la sangre y captura el oxígeno de la hemoglobina produciendo su destrucción parcial, proceso que puede provocar la muerte si la concentración es alta y/o si la persona permanece un tiempo prolongado expuesto a un ambiente contaminado. A su vez, los Óxidos de Nitrógeno al ser aspirados se combinan con la humedad presente en las vías respiratorias formando Ácido Nítrico, el cual se deposita en los tejidos produciendo lesiones que pueden también comprometer la vida del individuo dependiendo de la concentración y tiempo de exposición.

Entre los principales factores que contribuyen a generar gases tóxicos se pueden mencionar los siguientes:

- Energía de iniciación insuficiente
- Mezclas explosivas defectuosas
- Explosivo alterado en su composición original por manejo descuidado
- Presencia de agentes extraños al explosivo mismo tales como aceite, agua, papel o plásticos.

Figura 2.7

Diseño de carga del proyecto 4500_04018 en mina a tajo abierto



Nota: Fuente elaboración propia

2.1.3.3 Carguío y Acarreo. Las etapas de carguío y acarreo suponen la ejecución conjunta de cargar con equipos, de gran tamaño, el material en el sistema de acarreo de la operación y transportarlo al lugar de destino correspondiente. Dependiendo de la calidad del mineral, los siguientes destinos pueden ser: chancado (en el caso del mineral sobre ley de corte), stocks de mineral o a botaderos (en caso de ser considerado material estéril). Dentro de los procesos productivos de mayor costo se encuentra el carguío y acarreo de material, debido a que es el proceso con mayor cantidad de equipos involucrados (flota), alto grado de mecanización, menor rendimiento productivo por equipo y constituye un proceso de operación prácticamente continuo. En promedio los costos de estas operaciones representan entre 45% y 65% del costo de la mina, por lo que es de gran importancia garantizar un ambiente de operación apto para lograr los mejores rendimientos de los equipos involucrados. Es por esta razón que se tratan en conjunto. En la explotación de un yacimiento, y desde el punto de vista de eficiencia y optimización de rendimiento y recursos, el dimensionamiento de los equipos de carguío y acarreo resulta muy importante; no sólo en número y tipo de equipos componentes de la flota, también en características y compatibilidad entre ellos. En función de esto se definen las mejores alternativas de diseño de la flota para cierto proyecto. Además, la flota de equipos para el carguío y acarreo deberá cumplir con lo siguiente:

- Compatibilidad física entre los equipos de carguío y acarreo con la explotación, es decir que la flota de equipos sea capaz de operar en la operación minera en condiciones normales de operación y seguridad (en función de la altura de bancos, dimensiones operacionales, selectividad, etc.).

- Compatibilidad física entre el equipo de carguío y el de acarreo, es decir que el equipo de carguío sea capaz de operar en conjunto con el equipo de acarreo (altura de descarga del carguío vs. altura de carga del transporte, match pala/camión, etc.)

La operación minera en la cual se basa el trabajo de investigación cuenta en el proceso de carguío y acarreo con los siguientes equipos:

- Carguío
 - 03 Palas eléctricas Caterpillar 7495

Figura 2.8

Pala Eléctrica Caterpillar 7495



Nota: Adaptado de (Caterpillar. 2023) https://www.cat.com/es_ES/products/new/equipment/electric-rope-shovels/electric-rope-shovels/18295939.html

- Acarreo
 - 29 camiones Caterpillar 797F

Figura 2.9

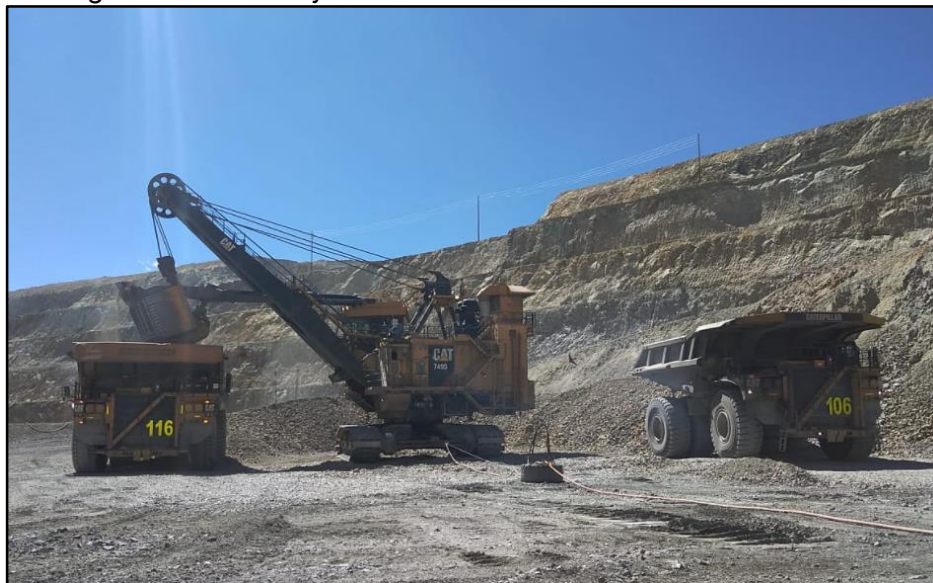
Camión Caterpillar 797F



Nota: Adaptado de (Caterpillar. 2023) <https://www.mustangcat.com>

Figura 2.10

Proceso de carguío en mina a tajo abierto



Nota: Fuente elaboración propia

2.2 Sistema de gestión de flota

El sistema de gestión de flota es un conjunto de herramientas tecnológicas que permite llevar a cabo las operaciones de explotación, ayudando a controlar de una manera eficiente los tiempos y costos de operación. El conocimiento de la ubicación y el estado real del equipo permite la toma de decisiones en tiempo real de la operación optimizando el proceso extractivo.

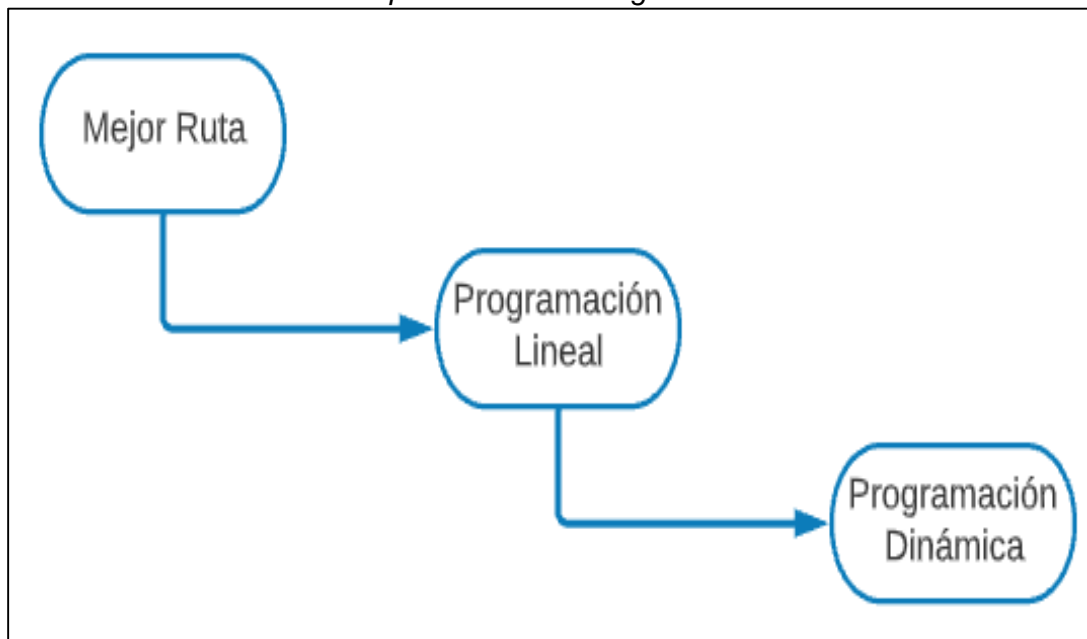
La función principal de cualquier sistema FMS es hacer que el proceso entre el camión y la pala:

- Sea más continuo
- Reducir el tiempo de inactividad asociado

El sistema de gestión de flota utiliza 03 modelos matemáticos principales:

Figura 2.11

Modelos matemáticos utilizados por un sistema de gestión de flota



Nota: Fuente elaboración propia

2.2.1 Modelos Matemáticos

2.2.1.1 Mejor Ruta (MR). Este algoritmo calcula el tiempo mínimo de un nodo a otro (punto virtual de ubicación) y la mejor ruta seleccionada será un conjunto de nodos que tengan como resultado el menor tiempo para llegar al destino, equipo de carguío o zona de descarga. Una vez realizado el cálculo de la Mejor Ruta, se entrega al siguiente modelo matemático, Programación Lineal, la información acerca de las rutas de acarreo.

Figura 2.12

Mejor ruta desde un equipo de carguío hacia la chancadora.



Nota: Fuente elaboración propia

2.2.1.2 Programación Lineal (PL). La función principal del algoritmo de Programación Lineal (PL) es la de determinar las rutas optimas de acarreo tomando como base la velocidad de excavación de las palas, el tiempo que se demoran los camiones en ruta, tipo de material, ley de mineral y la capacidad de descarga en los stocks y/o botaderos.

Figura 2.13

Monitor de progreso de viajes del sistema de gestión de flota

Empty Trucks (9)			
	CM403-02:31	CD101, 05:13, 4860-01-03500, pc125.363 %	CM110>Loading
Stock03_4890	CM101-11:14	CD104, 45:15-27-04168, pc143.218 %	
Bot Cajon 4725	CM207-03:10	CD201, 5000-99999, pc86.848 %	CM206>Loading
Stock17_4950	CM128-02:17	PL001, 4500-11-04146, pc121.35 %	
Stock17_4950	CM121-04:44	PL002, 4500-15-04130, pc122.579 %	
	CM106-01:08		
Stock17_4950	CM120-01:11	PL003, 4500-17-04816, pc117.12 %	
CM102 CM104 CM105 CM108 CM111 CM112 CM113-WP126 (1 08:01) CM116 CM118 CM122 CM127 CM130 CM201 CM205 CM402 CM404 CM405 CM407 CM409 CM410			
Loaded Trucks (11)			
CD101	CM123-06:36-4860-01-03500		Bot Oeste 4890
PL001	CM115-08:11-4500-11-04146		Stock01_4700
CD104	CM124-03:23-4515-27-04168		
PL001	CM129-13:05-4500-12-04093		Stock03_4890
PL001	CM126-WP111-Stock_Dinamico (0052)-4500-11-04140		Stock03_4920
			Stock05_4680 CM204 CM406
	CM119-Off Course (Unknown)-4500-15-04130		
PL002	CM408-14:12-4500-15-04130		Stock17_4950
	CM401-22:08-4500-10-04089		
	CM107-22:51-4500-15-04130		

Nota: Fuente elaboración propia

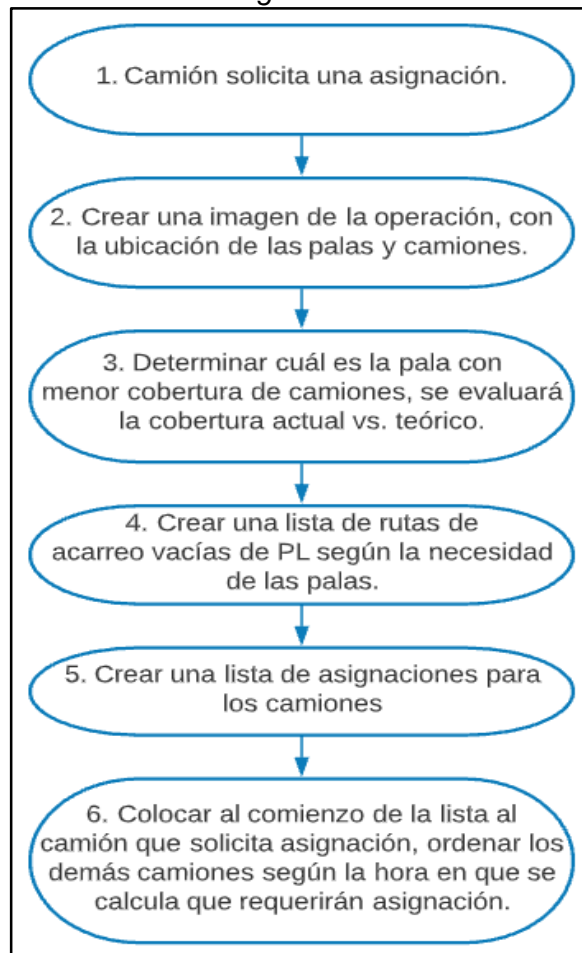
2.2.1.3 Programación Dinámica (PD). El modelo matemático de la Programación Dinámica entra en uso cuando un camión necesita una asignación, el algoritmo examina todas las posibles alternativas para dicho camión.

Simultáneamente, estudia las alternativas que hay para los demás camiones que van a necesitar una asignación dentro de pocos minutos. La programación dinámica hará cálculos recurrentes hasta lograr encontrar la mejor asignación posible.

Los algoritmos de Programación Lineal (PL) y Programación Dinámica (PD) trabajan juntos durante el turno para optimizar la selección de rutas y el flujo de material.

Figura 2.14

Secuencia para que un camión reciba asignación en un sistema de gestión de flota

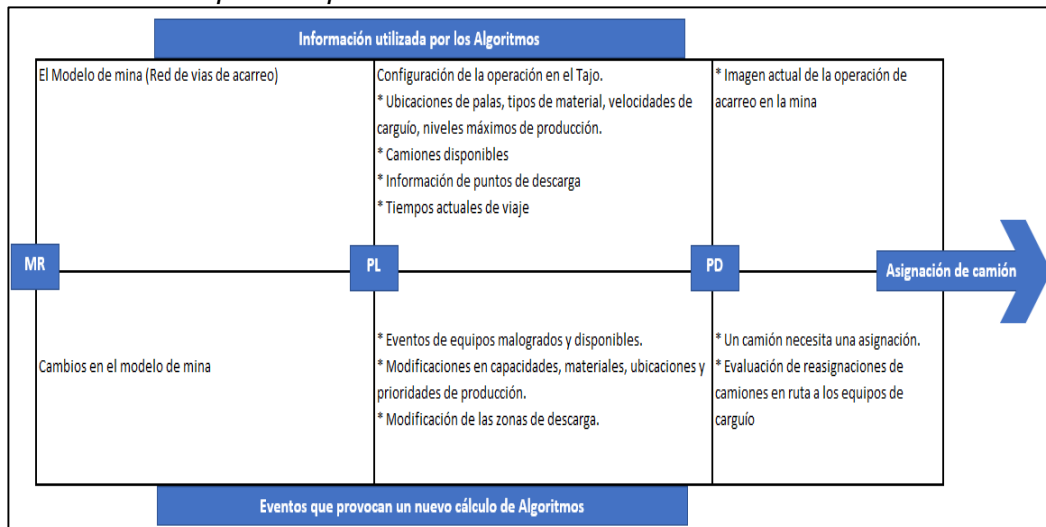


Nota: Fuente elaboración propia

Los datos de entrada (input) para cada modelo matemático son:

Figura 2.15

Datos de entrada requeridos para cada modelo matemático



Nota: Fuente elaboración propia

En la operación minera en la cual se realizó el estudio, se utiliza el sistema de gestión de flota Minestar cuyo fabricante es Caterpillar, en las siguientes páginas se tratará una breve descripción del sistema de gestión de flota.

2.3 Cat Minestar

El sistema de gestión de flota Minestar ayuda a administrar todos los aspectos, desde el rastreo de materiales hasta la administración sofisticada de la flota en tiempo real, los sistemas de estado de las máquinas, los sistemas de equipos autónomos y mucho más. Los conjuntos de soluciones (Fleet, Terrain, Detect, Health y Command) se pueden combinar o se pueden utilizar de manera individual para proporcionarle a su operación la flexibilidad y la escalabilidad necesarias para aumentar la productividad, la eficiencia y la seguridad.

Cat Minestar cuenta con las siguientes soluciones:

2.3.1 Fleet

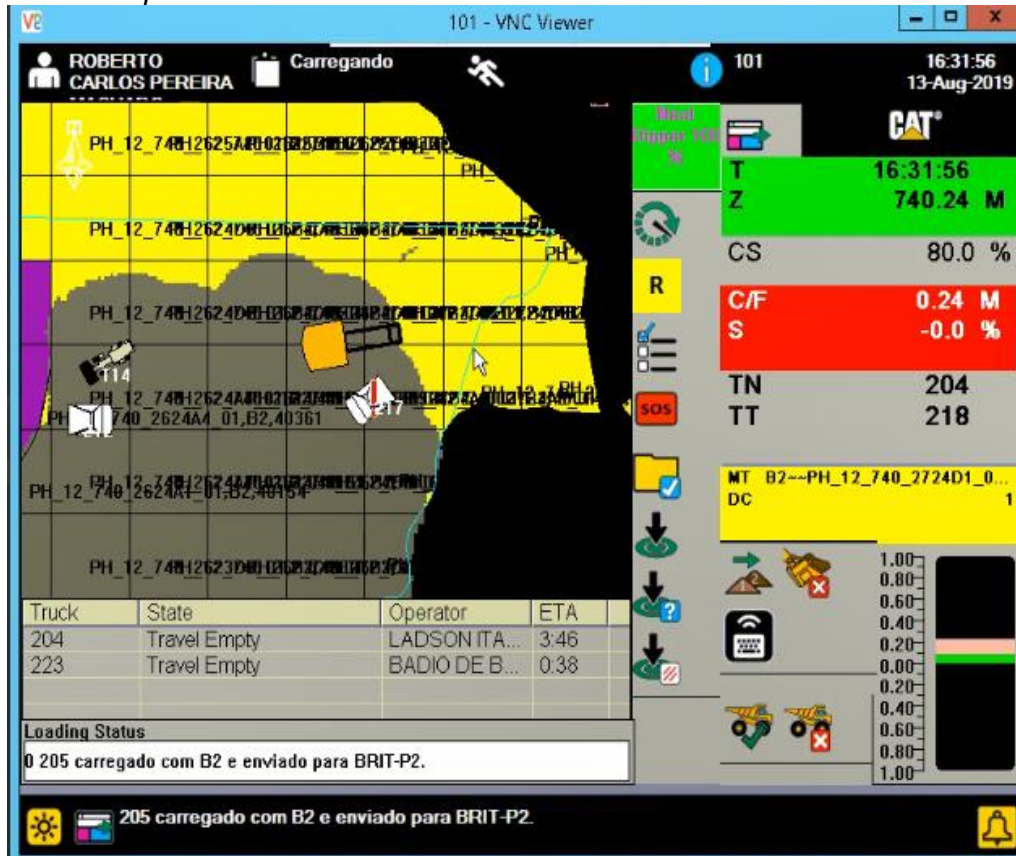
Mediante Fleet, se ofrece a las minas una visión integral de todas las operaciones a través de la administración de la productividad, la asignación de tareas y el rastreo de máquinas en tiempo real.

2.3.2 Terrain

A través de Terrain, se permite la administración de alta precisión de las operaciones de perforación, cargadores, tractores y palas eléctricas mediante el uso de tecnología avanzada de orientación.

Figura 2.16

Sistema de alta precisión Terrain



Nota: Fuente elaboración propia

2.3.3 Detect

Detect permite mejorar el conocimiento del operador respecto al entorno del equipo, reduciendo los posibles peligros de seguridad como las colisiones y aumentando la confianza del operador.

Figura 2.17

Sistema de detección de objetos y/o equipos Detect



Nota: Adaptado de (Caterpillar.2023) <https://www.cat.com>

2.3.4 Health

Mediante Health, se proporcionan datos operativos y de condiciones de las máquinas basados en sucesos críticos para toda la flota, y de este modo es posible identificar problemas en los equipos de las minas mucho antes de que se produzcan las fallas.

Figura 2.18

Transferencia de datos de los equipos CAT a la oficina – Sistema Health



Nota: Adaptado de (Caterpillar. 2023) https://www.cat.com/en_US/by-industry/mining/minestar-solutions/equipment-health.html

2.3.5 Command

Utilizando Command, puede tener sistemas de equipos de minería total o parcialmente autónomos, o de control remoto, lo que representa mejoras sin precedentes en la seguridad de los operadores, la disponibilidad de los equipos y la productividad del sitio.

Figura 2.19

Sistema de camiones autónomos Command de Caterpillar



Nota: Adaptado de (Caterpillar. 2023) https://www.cat.com/en_US/by-industry/mining/minestar-solutions/equipment-health.html

Figura 2.20

Plataforma de solución tecnológica Minestar



Nota: Adaptado de (Diesel Progress. 2023) <https://www.dieselprogress.com/news/caterpillar-autonomous-trucks-achieve-over-5-billion-tons-moved/8023519.article>

2.4 Minestar fleet

El presente trabajo tiene mayor énfasis en la utilización del sistema Fleet, por lo cual se ha visto conveniente realizar una mayor descripción del sistema.

2.4.1 ¿Qué es el Cliente Fleet?

El cliente Fleet es la aplicación del software de oficina que usa el personal de control para monitorear y administrar el sistema Fleet. El diseño del cliente Fleet es similar a muchas aplicaciones de Microsoft Windows, así que muchos usuarios estarán familiarizados con la función y la interfaz básica del usuario.

Fleet es un sistema de información de minería totalmente integrado. El sistema ofrece control de la máquina, estado de la máquina, productividad, rastreo de materiales y de la máquina, administración de la perforadora y sistema de asignación avanzado del camión.

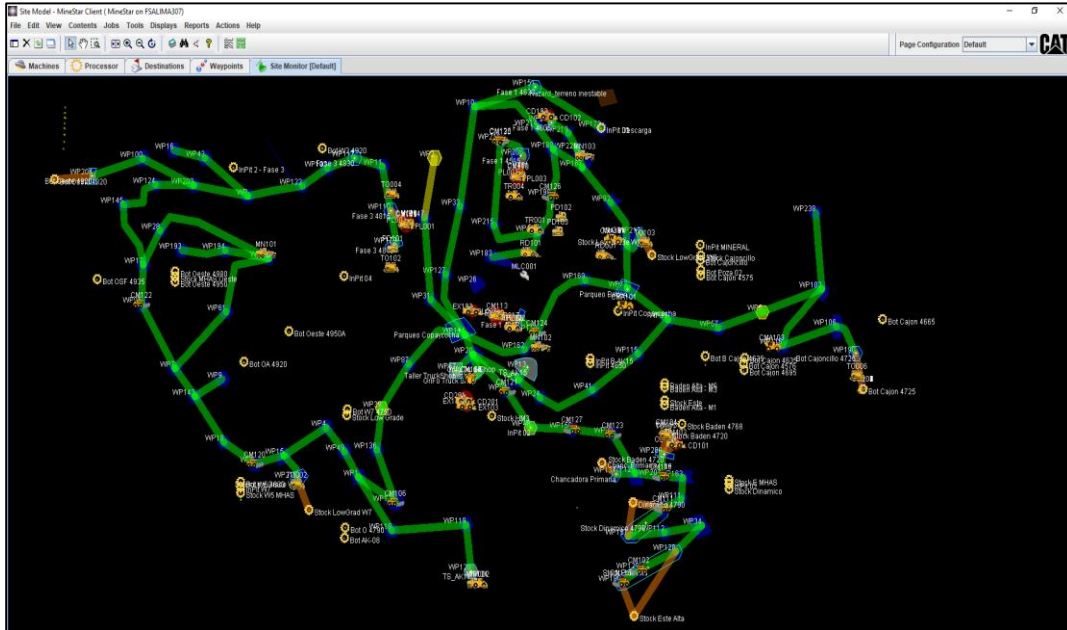
El software de oficina utiliza la información en tiempo real de los sistemas de tecnología incorporados, que incluye el sistema Terrain para nivelación y carguío, el Sistema de Administración de Información Vital (VIMS, Vital Information Management System), los datos del GPS incorporado del camión, y los sistemas Terrain para perforación.

El software de oficina está compuesto de los siguientes subsistemas:

- Asignación
- Validación de datos
- Estado
- Rastreo de máquina
- Rastreo de materiales
- Administración de operadores
- Comunicación con el taladro
- Producción

Figura 2.21

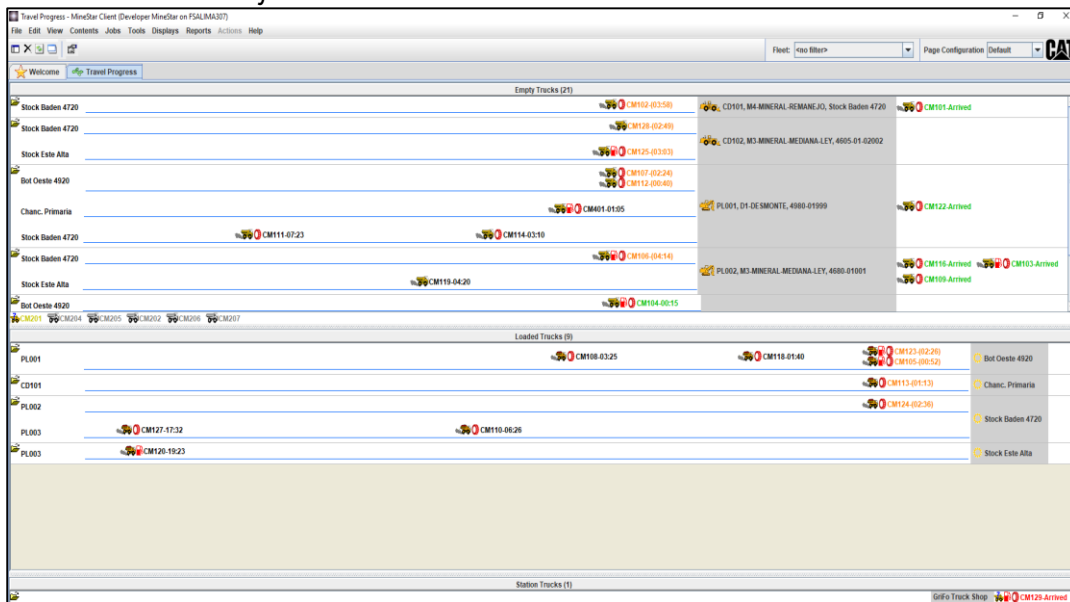
Ventana Monitor de Sitio en Minestar Fleet



Nota: Fuente elaboración propia

Figura 2.22

Ventana monitor de viajes en Minestar Fleet



Nota: fuente elaboración propia

2.5 Ciclo Pala - Camión

El número de actividades registrados en el sistema de gestión de flota para el ciclo de camión y pala eléctrica son diferentes, en el camión tenemos 09 actividades y para la pala eléctrica 03 actividades.

2.5.1 Actividades del Camión

Fleet considera 09 actividades para el ciclo del camión minero:

- 1) Viajando vacío
- 2) Cola en el origen
- 3) Cuadrando en el origen
- 4) Esperando para cargar
- 5) Cargando
- 6) Viajando cargado
- 7) Cola en la descarga
- 8) Cuadrando en la descarga
- 9) Descargando

Figura 2.23

Actividades del ciclo del camión en el sistema de gestión de flota Minestar Fleet



Nota: Fuente elaboración propia

2.5.2 Actividades de la Pala Eléctrica

Fleet considera 3 actividades para el ciclo de la pala:

- 1) Esperando
- 2) Esperando por el cuadrado del camión
- 3) Cargando

Figura 2.24

Actividades del ciclo de la pala eléctrica en el sistema de gestión de flota Minestar Fleet



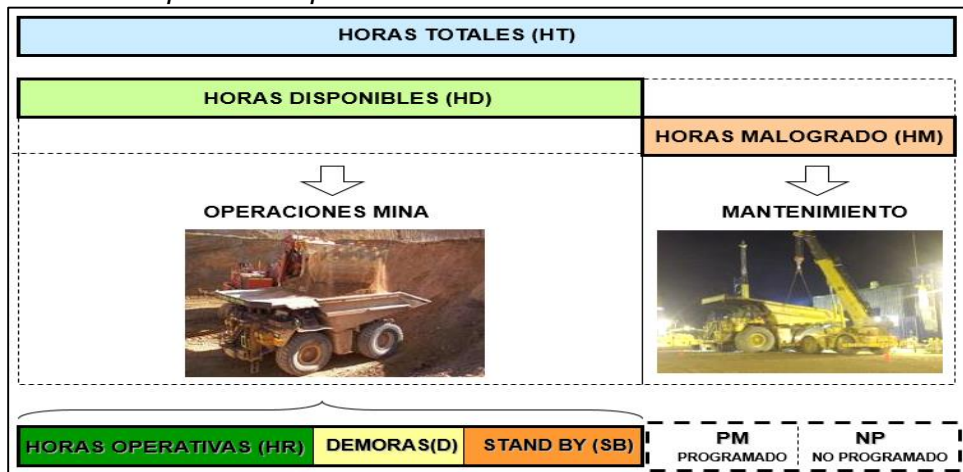
Nota: Fuente elaboración propia

2.6 Distribución de tiempos

En la operación minera en la cual se realizó el estudio, se tiene una distribución de tiempos que ha sido diseñado con el objetivo de tener una mayor exactitud en el registro de tiempos.

Figura 2.25

Distribución de tiempos en la operación minera analizada



Nota: Fuente elaboración propia

La definición de los estados son los siguientes:

2.6.1 Horas totales (HT)

Son las 24 horas del día, los 365 días del año, debe considerarse para cada equipo.

2.6.2 Horas disponibles del equipo (HD)

Son las horas en que el equipo está disponible para producir, es decir, a disposición de Operaciones Mina.

2.6.3 Horas del equipo malogrado (HM)

Son las horas en que el equipo no está disponible para producir, ya sea por mantenimiento correctivo o mantenimiento preventivo. Estas horas son responsabilidad de Mantenimiento Mina. En la mina en la cual se realizó el estudio, se tiene las siguientes demoras por mantenimiento:

- Accidente
- Preventivo
- Radio de comunicación
- Trabajo Mecánico
- Trabajo eléctrico
- Trabajo soldadura
- Overhaul
- Inspección de equipo
- Inspección Predictivo
- Trabajo Neumáticos
- Evaluación de equipo
- Lubricación
- Correctivo Mecánico

- Correctivo Eléctrico
- Correctivo Soldadura
- Correctivo Neumáticos
- Mantenimiento por oportunidad
- Operaciones
- Neumáticos

2.6.4 Horas del equipo operativo (HR)

Son las horas en que el equipo está operativo y haciendo trabajo productivo.

2.6.5 Demoras (D):

Es el tiempo en que el equipo está operativo, pero no realizando trabajo productivo. En la mina en la cual se realizó el estudio, se tiene las siguientes demoras en la flota de acarreo:

- Cambio de operador
- Cambio de Turno
- Disparo
- Inspección de operador
- Refrigerio
- Servicios Higiénicos
- Parada por Accidente
- Instrucciones
- Abastecimiento de combustible
- Calibración de balanza por el operador
- Carretera obstruida
- Espera combustible
- Limpieza de Tolva

- Traslado a taller
- Equipo calentando
- Cola en grifo
- Remolque
- Liberación por disparo

2.6.6 Reserva (SB)

Es el tiempo en que el equipo está disponible mecánicamente, pero apagado por consideraciones operativas. En la mina en la cual se realizó el estudio, se tiene las siguientes reservas en la flota de acarreo:

- Charla de seguridad
- Condiciones climáticas
- Condiciones inseguras
- Emergencia
- Entrenamiento
- Falta de botadero
- Falta de chancadora
- Falta de equipo de carguío
- Falta de frente
- Falta de operador
- Feriado o festividad
- Huelga
- Planeado
- Parada SSMA
- Prueba Operaciones
- Equipo de carguío inoperativo

2.7 Indicadores

2.7.1 Disponibilidad Mecánica

Es el porcentaje del tiempo total que el equipo está disponible para operaciones.

Es una medida de la eficiencia de mantenimiento, es un indicador de control para ellos.

$$\text{Disponibilidad Mecánica} = \frac{\text{Horas totales} - \text{Horas Malogrado}}{\text{Horas Totales}}$$

Nota: Fuente elaboración propia

2.7.2 Utilización

Es el porcentaje de tiempo mecánicamente disponible en que el equipo se encuentra operando y realizando su función principal.

$$\text{Utilización} = \frac{\text{Horas Disponibles} - \text{Reserva}}{\text{Horas Disponibles}}$$

Nota: Fuente elaboración propia

2.7.3 Utilización efectiva

Es el porcentaje de tiempo en que el equipo está produciendo respecto del total de tiempo disponible mecánicamente. Es una medida de la eficiencia del aprovechamiento de los recursos por parte de operaciones mina.

$$\text{Utilización Efectiva} = \frac{\text{Horas Disponibles} - \text{Demora} - \text{Reserva}}{\text{Horas Disponibles}}$$

Nota: Fuente elaboración propia

2.8 Productividad

La productividad involucra una regla de conducta fundamental para conseguir la mayor satisfacción con el menor costo o fatiga. Matemáticamente, podemos definir a la productividad como “el cociente que se obtiene al dividir la producción por uno de los factores de la producción”, es decir la productividad es la razón entre la cantidad producida y los insumos utilizados. Es así como este término no es una medida de producción, ni de la cantidad que se ha fabricado, sino es una medida de lo bien que se han combinado y

utilizado los recursos específicos. Así que cualquier aumento en la productividad ocupa un lugar importante en los objetivos de la organización, la tendencia global implica que las empresas estén enfocadas en ser cada día más productivas, no existe alternativa de mantenerse en el tiempo sin realizar mejoras que le permitan incrementar su productividad.

2.8.1 Productividad Teórica

La Productividad Teórica estará definida como el volumen o peso producido por unidad de operación, en nuestro caso las unidades son ton/hr.

$$Producción\ Teórica\ \left(\frac{ton}{hr}\right) = \left(\frac{Q}{Ciclo} * \frac{Ciclo}{hora}\right)$$

Fuente: Álvarez, V. Cálculo de la productividad de equipos de acarreo y transporte – Unidad Minera de Arcata. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín].

Donde:

Q= Capacidad nominal del equipo (ton)

Ciclo= Tiempo de ciclo de acarreo (hr)

2.8.2 Productividad Promedio

La Productividad Promedio involucra al peso o volumen por hora producido por unidad en operación, considerando retrasos fijos y variables. Esta tasa de producción debe aplicarse al periodo de tiempo deseado (turno, día) para estimar la producción total.

$$Producción\ Promedio\ \left(\frac{ton}{hr}\right) = 60 * \frac{[(T - R) * e * Q]}{(T * Tc)}$$

Fuente: Álvarez, V. Cálculo de la productividad de equipos de acarreo y transporte – Unidad Minera de Arcata. (tesis de pregrado). Universidad Nacional San Agustín.

Donde:

Q= Capacidad nominal del equipo (ton)

T= Duración del periodo de tiempo total (minutos)

R= Retrasos fijos (minutos)

e=Eficiencia de trabajo (Retrasos variables, %)

Tc= Tiempo del ciclo (minutos)

2.8.3 Productividad máxima por hora

La Productividad Máxima corresponde al peso o volumen por hora producida por una unidad en operación, considerando los retrasos variables. Esta tasa de producción debe aplicarse para determinar el número de unidades de transporte asignadas a un equipo de carguío, para lograr la producción requerida. Se determina con la siguiente formula:

$$\text{Producción Maxima} \left(\frac{\text{ton}}{\text{hr}} \right) = 60 * \left(\frac{e * Q}{Tc} \right)$$

Fuente: Álvarez, V. *Cálculo de la productividad de equipos de acarreo y transporte – Unidad Minera de Arcata. (tesis de pregrado). Universidad Nacional San Agustín.*

Donde:

Q= Capacidad nominal del equipo (ton)

e=Eficiencia de trabajo (Retrasos variables, %)

Tc= Tiempo del ciclo (minutos)

2.8.4 Eficiencia de operación (%Eff.)

La eficiencia de trabajo es el elemento más complejo de estimación que es determinado por una serie de variables como el factor humano, condiciones climáticas, métodos de explotación, tránsito, reparación de los equipos, operación nocturna, etc.

El valor de la eficiencia de operación puede calcularse mediante la siguiente operación:

$$\%Eff = \frac{\text{Tiempo operación efectivo}}{\text{Tiempo total de operación}} * 100$$

Fuente: Álvarez, V. Cálculo de la productividad de equipos de acarreo y transporte – Unidad Minera de Arcata. (tesis de pregrado). Universidad Nacional San Agustín.

La eficiencia o factor operacional dependerá de todos los factores descritos anteriormente. Adicionalmente, el rendimiento administrativo y de la supervisión como lo demuestra el siguiente cuadro:

Figura 2.26

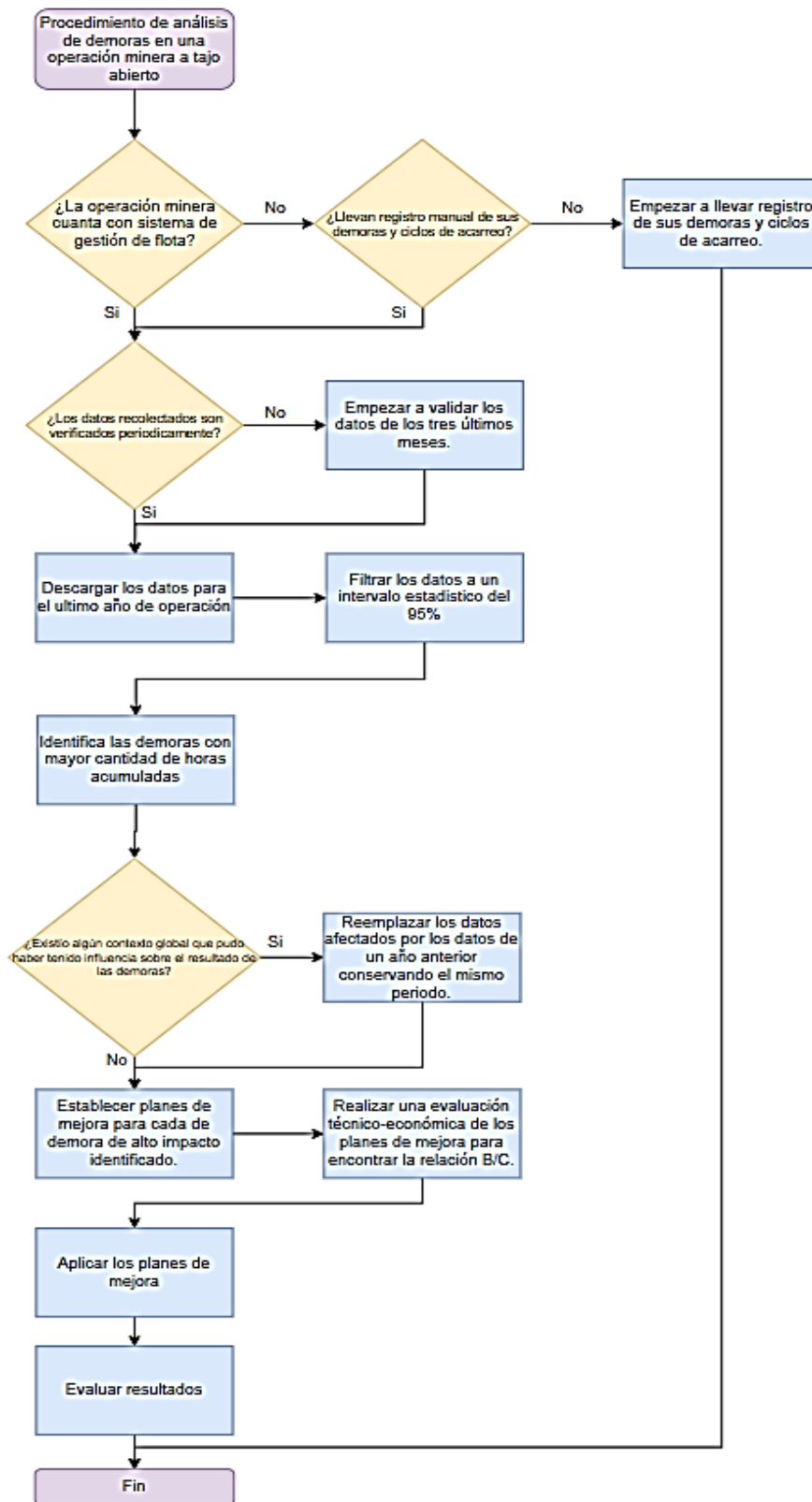
Eficiencia en una operación minera

Condiciones de trabajo	Organización de la Obra		
	Buena	Promedio	Mala
Buena	0,90	0,750	0,60
Promedio	0,80	0,650	0,50
Mala	0,700	0,600	0,45

Fuente: Álvarez, V. Cálculo de la productividad de equipos de acarreo y transporte – Unidad Minera de Arcata. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín]. Arequipa. Perú.

2.9 Procedimiento de análisis de demoras en una operación minera a tajo abierto

El siguiente diagrama de flujo contiene los pasos a seguir para poder realizar el análisis de las demoras en cualquier operación a tajo abierto. El presente trabajo servirá de guía para otros ingenieros que cuenten con un sistema de gestión de flota y deseen analizar las demoras en su operación y reducir el total de horas acumuladas, logrando incrementar la productividad, utilización efectiva y reducir los costos de operación.



Nota: Fuente elaboración propia

Capítulo III. Cálculos y aplicaciones

3.1 Estudio de Demoras

Se realizó el estudio de las demoras operativas en la flota de acarreo, se trabaja con una gran cantidad de datos, un total de 37885 registros de demoras, los cuales han sido ingresados por el operador del equipo y/o controlador del sistema de gestión de flota.

Se realizó la técnica de filtrado para obtener el número de registros por cada demora, para eliminar los valores erráticos se realizó el ajuste a un nivel de confianza del 95%.

El objetivo es identificar aquellas demoras que sean de mayor impacto en la operación minera a tajo abierto y poder elaborar proyectos que contribuyan a reducir el número de horas acumuladas por la demora, incrementando la productividad de la flota de acarreo.

Tabla 3.1*Datos de los estados de demora y reserva registrados en el sistema de gestión de flota*

Demora/Reserva	Data inicial			Nivel de confianza = 95%		
	Numero de datos	Media	Desv. Estandar	Numero de datos	Media	Desv. Estandar
Abastecimiento de diesel	13778.00	13.67	5.10	13181.00	13.62	3.13
Calibracion de balanza por operador	50.00	3.16	2.76	48.00	2.77	2.03
Cambio de operador	6231.00	7.36	9.60	6048.00	6.12	4.12
Cambio de turno	12291.00	46.92	40.14	12031.00	46.98	26.19
Carretera obstruida	740.00	4.54	5.94	705.00	3.50	3.09
Charlas de seguridad	162.00	63.64	53.75	160.00	58.84	31.71
Cola en grifo	4796.00	13.66	10.74	4597.00	12.19	7.50
Condiciones ambientales	376.00	39.38	41.81	353.00	31.28	41.81
Condiciones inseguras	44.00	82.00	182.02	43.00	57.95	88.71
Voladura	969.00	24.41	18.97	923.00	21.86	14.50
Emergencia	3.00	33.32	31.70	3.00	33.32	31.70
Entrenamiento	3.00	16.16	9.42	3.00	16.16	9.42
Equipo calentando	1403.00	13.58	12.11	1357.00	12.16	8.06
Equipo de carguo inoperativo	2352.00	28.29	55.88	2268.00	19.80	23.96
Espera de combustible	2241.00	8.51	17.10	2183.00	6.59	7.65
Falta de botadero	31.00	4.85	3.32	30.00	4.53	2.86
Falta de chancadora	216.00	43.31	136.80	213.00	30.29	43.48
Falta de equipo de carguo	7727.00	10.64	33.92	7645.00	8.68	8.53
Falta de frente de carguo	3.00	15.32	11.62	3.00	15.32	11.62
Falta de operador	5371.00	357.67	1161.89	5241.00	229.34	366.50
Inspeccion de operador	4198.00	8.31	134.88	4194.00	6.02	9.48
Instrucciones de la supervisión	88.00	22.70	24.71	85.00	19.58	17.07
Liberacion para voladura	10.00	20.08	21.02	10.00	20.08	21.02
Limpieza de tolva	4.00	4.82	7.53	4.00	4.82	7.53
Parada por accidente	10.00	27.89	39.26	10.00	27.89	39.26
Parada Seguridad	1.00	41.82	0.00	1.00	41.82	0.00
Planeado	105.00	245.93	616.92	101.00	143.76	166.59
Prueba de operaciones	7.00	12.04	12.12	7.00	12.04	12.12
Refrigerio	7359.00	53.95	28.99	7280.00	52.53	18.85
Remolque	3.00	82.48	89.40	3.00	82.48	89.40
Servicios Higenicos	1559.00	9.65	4.09	1472.00	9.36	3.45

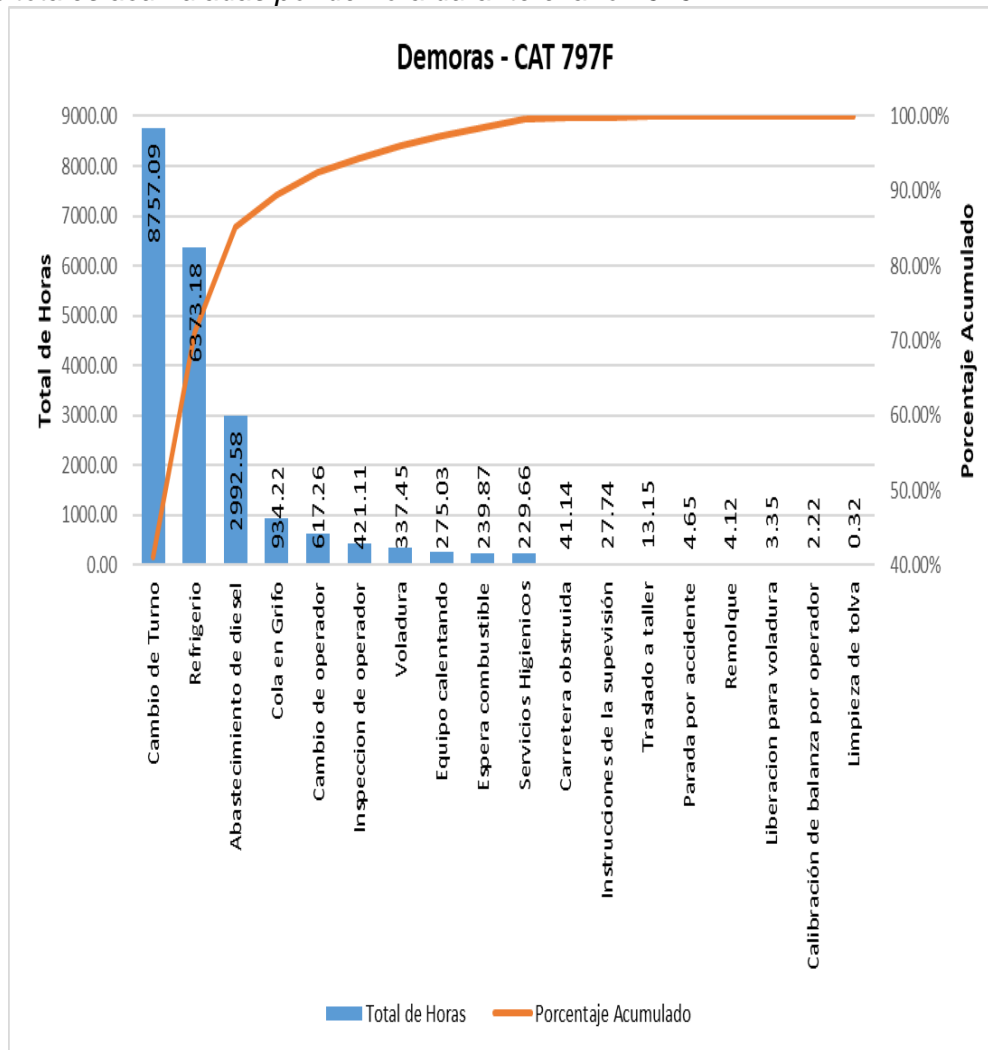
Nota: Fuente elaboración propia

Se realiza el análisis para el total de horas acumuladas de los estados de demora y reserva que se han registrado en la flota CAT 797F.

Se tienen 18 tipos de demora disponibles en la flota de acarreo, durante el periodo 2020 el total de horas acumulados por demora se distribuye de la siguiente manera:

Figura 3.1

Horas totales acumuladas por demora durante el año 2020



Nota: Fuente elaboración propia

En el grafico se puede observar que tiene mayor incidencia las siguientes demoras:

Tabla 3.2

Lista de demoras con mayor número de horas durante el año 2020

Demora	Total (hr)
Cambio de turno	8757.09
Refrigerio	6373.18
Abastecimiento de diesel	2992.58
Cola en grifo	934.22

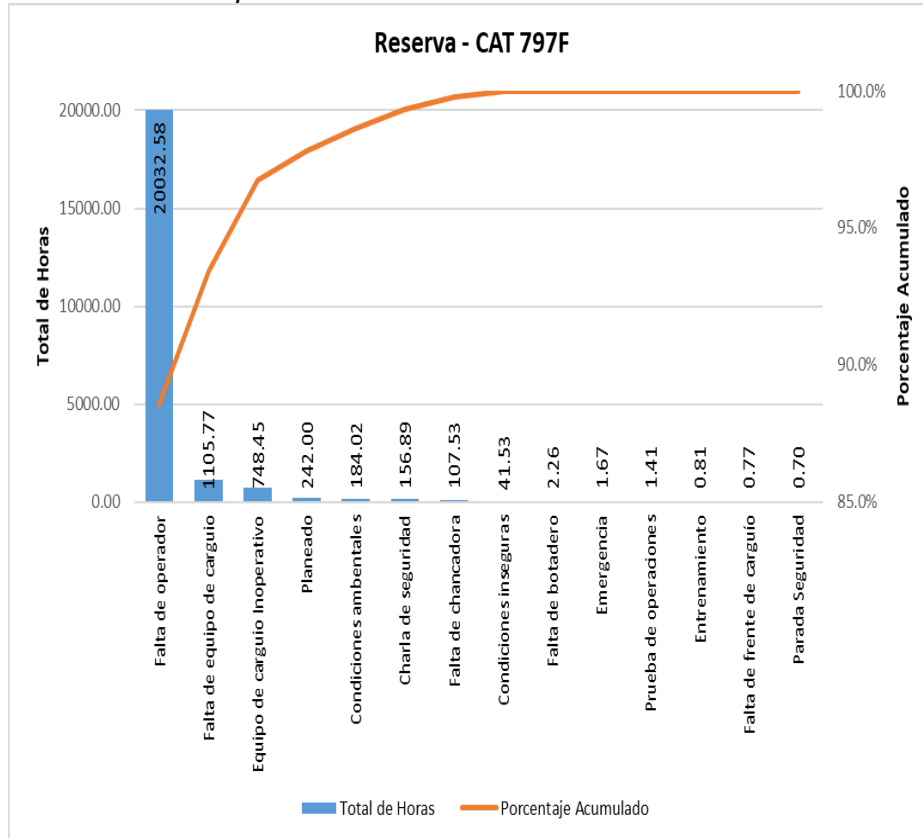
Nota: Fuente elaboración propia

3.2 Estudio de Reservas

En la sección reserva se tiene 14 tipos de estados, durante el periodo 2020 el total de horas acumuladas por los estados de reserva se distribuye de la siguiente manera:

Figura 3.2

Horas totales acumuladas por reserva durante el año 2020



Nota: Fuente elaboración propia

En el gráfico se observa que el estado de reserva con la mayor cantidad de horas acumuladas es:

Tabla 3.3

Reserva con el mayor número de horas durante el año 2020

Reserva	Total (hr)
Falta de operador	20032.58

Nota: Fuente elaboración propia

3.3 Estudio de los estados de Demoras y Reservas

Se elabora una sola tabla en la cual se muestre los estados de demora y reserva, se selecciona los 10 estados con mayor número de horas acumuladas, a partir de esta

tabla se identificarán las oportunidades de mejora para reducir la demora y/o reserva e incrementar la productividad de la flota de acarreo CAT 797F.

Tabla 3.4

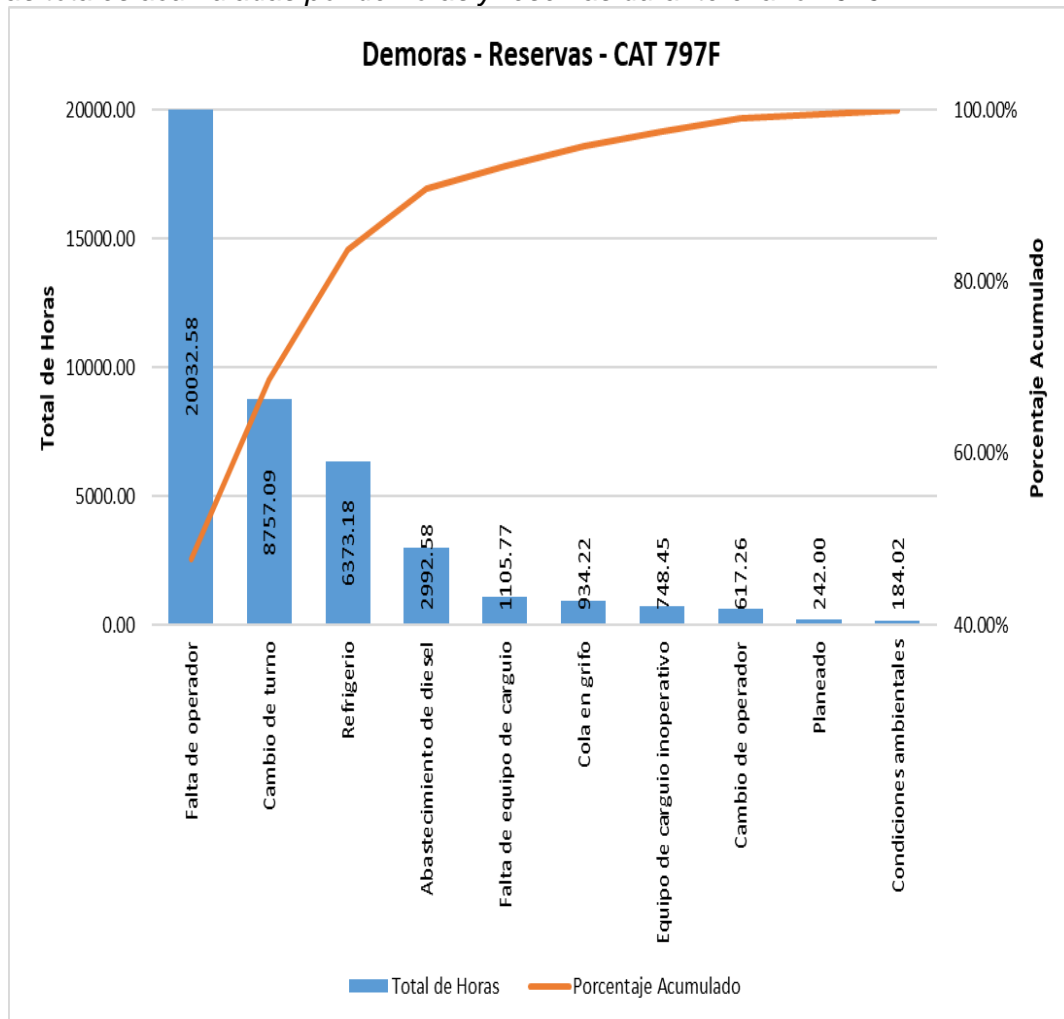
Lista de demoras y reservas con el mayor número de horas durante el año 2020

Categoría	Descripción	Total (hr)	%
Reserva	Falta de operador	20032.58	47.71%
Demora	Cambio de turno	8757.09	20.86%
Demora	Refrigerio	6373.18	15.18%
Demora	Abastecimiento de diesel	2992.58	7.13%
Reserva	Falta de equipo de carguio	1105.77	2.63%
Demora	Cola en grifo	934.22	2.23%
Reserva	Equipo de carguio inoperativo	748.45	1.78%
Demora	Cambio de operador	617.26	1.47%
Reserva	Planeado	242.00	0.58%
Reserva	Condiciones ambientales	184.02	0.44%

Nota: Fuente elaboración propia

Figura 3.3

Horas totales acumuladas por demoras y reservas durante el año 2020



Nota: Fuente elaboración propia

Seguindo la regla de Pareto 80/20, el trabajo de investigación se enfocará en las demoras que tengan la mayor incidencia en la operación minera a tajo abierto.

Los estados que tienen la mayor cantidad de horas son:

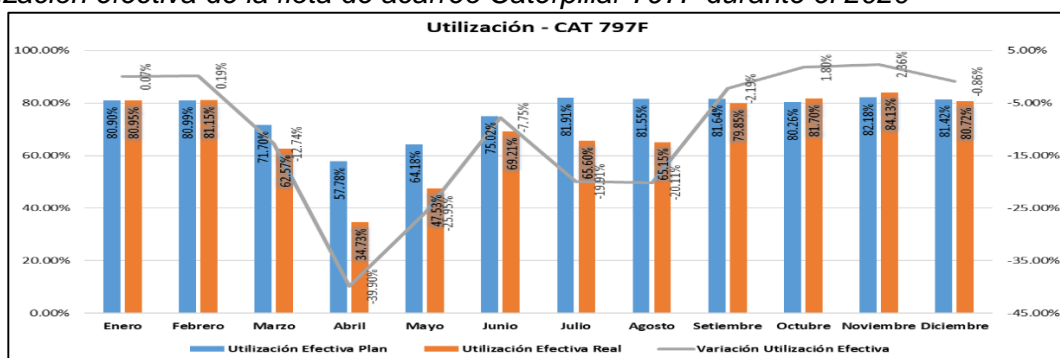
- Falta de operador
 - Horas: 20032.58
 - Porcentaje: 47.71%
- Cambio de turno
 - Horas: 8757.09
 - Porcentaje: 20.86%
- Refrigerio
 - Horas: 6373.18
 - Porcentaje: 15.18%

Al sumar los porcentajes de los 3 estados mencionados anteriormente, el valor que representan es del 83.75% del total de horas por lo cual está dentro de lo establecido para aplicar la regla de Pareto.

Producto de todas las demoras registradas en el sistema de gestión de flota durante el periodo 2020, se vio afectado la utilización y la utilización efectiva. Al comparar la utilización efectiva obtenida versus la utilización efectiva planeado se obtiene variaciones que se pueden observar en el grafico:

Figura 3.4

Utilización efectiva de la flota de acarreo Caterpillar 797F durante el 2020



Nota: Fuente elaboración propia

Durante el 2020 se tuvo el contexto global de la pandemia por COVID-19, afectando en gran parte a la utilización efectiva durante los meses de marzo, abril, junio, julio y agosto.

3.4 Productividad inicial

Para el cálculo de la productividad obtenido en el año 2020 por la flota de camiones CAT 797F, se obtuvo la información registrada en el sistema de gestión de flota y se analizaron 186534 ciclos. El análisis comprende el origen de carguío (Fase, Stock) hacia los destinos de descarga que son: Chancadora, Stock 1, Stock 2, Stock 3, Stock 4, Stock 5, Stock 8, Stock 9, Stock 17 e InPit.

Para el cálculo de la Productividad Promedio y Productividad Máxima por hora, es necesario conocer la Eficiencia de Operación (%Eff).

$$\%Eff = \frac{\textit{T tiempo de operación Efectiva}}{\textit{T tiempo Total de Operación}} * 100$$

Los resultados obtenidos en el año 2020 para la flota de acarreo CAT 797F son:

- Tiempo Disponible = 202741 hr
- Tiempo Total Operación = 165650 hr
- Tiempo Operación Efectiva= 141214 hr

Por lo tanto, la eficiencia de operación:

$$\%Eff = \frac{141214}{165650} * 100 = 0.85$$

Con los datos obtenidos del sistema de gestión de flota y los cálculos realizados, es posible obtener la productividad por ruta de acarreo y productividad promedio durante el año 2020.

Tabla 3.5

Productividad de la flota de acarreo CAT 797F por origen de carguío durante el año 2020

Origen	Destino	Tiempo de ciclo (min)	Número de ciclos	Productividad Teórica (ton/hr)	Productividad Promedio (ton/hr)	Productividad Máxima por hora (ton/hr)
Fase 2 4390	Chancadora	52.15	792	427	301	363
	Stock A	45.45	522	490	345	416
	Stock B	44.30	3	502	354	427
	Stock C	46.26	191	481	339	409
	Stock E	54.71	25	407	287	346
	Bot. Palmito	77.93	2	286	201	243
	InPit	22.02	209	1011	713	859
Fase 2 4405	Chancadora	45.15	3133	493	348	419
	Stock A	41.12	452	541	382	460
	Stock B	45.24	181	492	347	418
	Stock C	52.08	1137	427	301	363
	Stock D	39.79	202	559	394	476
	Stock E	37.11	160	600	423	510
	Stock G	32.60	44	683	481	580
	Stock A7	53.42	5	417	294	354
	Bot. Palmito	48.04	6	463	327	394
InPit	24.86	62	895	631	761	
Fase 2 4420	Chancadora	43.98	3954	506	357	430
	Stock A	39.84	1690	559	394	475
	Stock B	46.94	88	474	334	403
	Stock C	49.05	1480	454	320	386
	Stock D	36.59	79	608	429	517
	Stock G	34.29	234	649	458	552
	Stock A7	56.83	1	392	276	333
	Bot. Palmito	36.94	3	603	425	512
	InPit	32.50	39	685	483	582
Fase 2 4435	Chancadora	45.42	4521	490	346	417
	Stock A	41.47	1427	537	378	456
	Stock B	43.95	519	506	357	431
	Stock C	50.85	1552	438	309	372
	Stock 08	43.16	4	516	364	438
	Stock X	32.01	864	695	490	591
	Stock A7	34.61	2	643	453	547
	Bot. Palmito	51.63	1	431	304	366
	InPit	17.54	242	1269	895	1079
Fase 2 4450	Chancadora	45.15	8493	493	348	419
	Stock A	42.19	1105	528	372	448
	Stock B	47.31	454	471	332	400
	Stock C	47.77	2415	466	329	396
	Stock D	59.80	1	372	262	316
	Stock G	33.23	238	670	472	569
	Bot. Palmito	50.26	46	443	312	376
	InPit	30.61	218	727	513	618
Fase 2 4465	Chancadora	45.59	4974	488	344	415
	Stock A	46.68	1323	477	336	405
	Stock B	48.66	155	457	323	389
	Stock C	52.86	2412	421	297	358
	Stock D	35.42	1	628	443	534
	Stock X	83.83	1	266	187	226
	Stock A7	51.63	713	431	304	366
	Bot. Palmito	34.34	5	648	457	551
	InPit	24.42	551	912	643	775
Fase 2 4480	Chancadora	44.66	3186	498	351	424
	Stock A	42.10	772	529	373	449
	Stock B	43.77	179	509	359	432
	Stock C	52.45	1940	424	299	361
	Stock D	41.78	1	533	376	453
	Stock X	17.70	1	1258	887	1069
	Stock A7	50.33	314	442	312	376
	Bot. Palmito	45.14	93	493	348	419
	Bot. Trinidad	56.95	1	391	276	332
InPit	21.17	523	1051	741	894	

	Stock B	54.20	1	411	290	349
	Stock C	51.39	74	433	305	368
Fase 2 4495	Stock A7	52.08	246	427	301	363
	Bot. Palmito	39.71	5	561	395	477
	InPit	37.53	316	593	418	504
Fase 2 4555	Chancadora	46.63	53	477	337	406
	Stock C	52.55	2	424	299	360
Fase 2 4570	Stock G	30.97	55	719	507	611
	InPit	29.69	10	750	529	637
Fase 2 4585	Stock C	47.04	53	473	334	402
	Stock G	66.08	2	337	238	286
	Chancadora	55.33	2	402	284	342
	Stock C	44.60	23	499	352	424
Fase 2 4600	Stock G	30.73	1	724	511	616
	Stock A7	47.10	63	473	333	402
	Bot. Palmito	35.28	118	631	445	536
	Bot. Trinidad	43.86	99	508	358	431
	InPit	32.00	42	696	490	591
Fase 2 4615	Chancadora	34.63	1	643	453	546
	Stock A	28.42	2	783	552	666
	Stock B	35.57	7	626	441	532
	Stock A7	40.10	6	555	391	472
	Bot. Palmito	12.50	1	1781	1256	1514
	InPit	9.53	67	2336	1647	1985
Fase 3 4540	Chancadora	42.49	2612	524	369	445
	Stock A	38.68	303	575	406	489
	Stock B	44.42	7	501	353	426
	Stock C	49.91	462	446	314	379
	Stock E	33.81	92	658	464	560
	Stock G	29.09	40	765	540	650
	Stock A7	53.38	99	417	294	354
	Bot. Palmito	40.12	96	555	391	472
	Bot. Trinidad	25.97	3	857	604	729
Fase 3 4555	Chancadora	39.38	2419	565	399	480
	Stock A	35.80	279	622	438	529
	Stock B	37.99	208	586	413	498
	Stock C	45.52	1058	489	345	416
	Stock D	32.83	2	678	478	576
	Stock E	32.50	365	685	483	582
	Stock G	23.71	466	939	662	798
	Stock A7	43.95	351	506	357	431
	Bot. Palmito	33.67	78	661	466	562
	Bot. Trinidad	31.03	8	717	506	610
Fase 3 4570	Chancadora	37.88	3484	588	414	499
	Stock A	34.87	731	638	450	543
	Stock B	33.13	346	672	474	571
	Stock C	44.27	2372	503	355	427
	Stock D	30.90	391	720	508	612
	Stock E	31.30	192	711	501	605
	Stock G	22.57	821	986	695	838
	Stock X	43.43	742	513	361	436
	Bot. Palmito	36.63	574	608	428	517
	Bot. Trinidad	33.39	24	667	470	567
	InPit	19.63	56	1134	800	964
Fase 3 4585	Chancadora	38.09	3958	584	412	497
	Stock A	33.32	1295	668	471	568
	Stock B	35.59	2076	625	441	532
	Stock C	41.18	1538	541	381	459
	Stock D	19.94	2015	1116	787	949
	Stock G	19.80	973	1124	793	956
	Stock A7	43.50	6	512	361	435
	Bot. Palmito	34.71	1436	641	452	545
	Bot. Trinidad	48.35	150	460	325	391
	InPit	25.59	112	870	613	739

	Stock G	30.89	53	721	508	613
	Stock A7	33.51	54	664	468	565
Fase 3 4750	Bot. Palmito	26.25	1	848	598	721
	Bot. Trinidad	34.78	440	640	451	544
	InPit	27.37	109	813	573	691
	Chancadora	37.88	4464	588	414	499
	Stock A	33.18	373	671	473	570
	Stock B	38.06	1154	585	412	497
	Stock C	40.61	1072	548	386	466
Fase 3 4600	Stock G	19.22	2687	1158	816	984
	Stock X	18.52	7	1202	847	1022
	Stock A7	39.38	2094	565	399	481
	Bot. Palmito	40.54	764	549	387	467
	Bot. Trinidad	44.82	286	497	350	422
	InPit	17.59	884	1265	892	1075
	Chancadora	40.90	1494	544	384	463
	Stock A	39.67	1210	561	396	477
	Stock B	39.37	459	565	399	481
	Stock C	47.29	1956	471	332	400
	Stock D	57.35	1	388	274	330
Fase 3 4615	Stock G	34.41	331	647	456	550
	Stock A7	41.08	3400	542	382	461
	Bot. Palmito	43.29	355	514	363	437
	Bot. Trinidad	46.85	1116	475	335	404
	InPit	26.75	773	832	587	707
	Stock A	43.93	6	507	357	431
	Stock C	45.49	43	489	345	416
Fase 3 4630	Stock A7	41.27	1425	539	380	459
	Bot. Trinidad	41.35	449	538	380	458
	InPit	30.54	65	729	514	620
	Chancadora	37.77	1165	589	416	501
	Stock A	33.74	373	660	465	561
	Stock B	33.95	329	656	462	557
	Stock C	41.20	1698	540	381	459
Fase 4 4570	Stock E	25.80	276	863	608	733
	Stock G	24.04	900	926	653	787
	Stock A7	43.23	2265	515	363	438
	Bot. Palmito	35.16	588	633	446	538
	InPit	24.49	241	909	641	773
	Chancadora	34.40	1264	647	456	550
	Stock A	27.41	624	812	573	690
	Stock B	30.72	718	725	511	616
	Stock C	37.65	3783	591	417	503
	Stock D	24.44	60	911	642	774
Fase 4 4585	Stock G	20.71	6085	1075	758	914
	Stock A7	43.21	116	515	363	438
	Bot. Palmito	30.28	1344	735	518	625
	InPit	15.02	195	1482	1045	1259
	Chancadora	37.72	1542	590	416	502
	Stock A	32.80	643	679	479	577
	Stock B	34.79	443	640	451	544
	Stock C	40.38	3180	551	389	469
Fase 4 4600	Stock G	18.30	669	1216	858	1034
	Stock X	25.76	105	864	609	735
	Stock A7	41.05	5884	542	382	461
	Bot. Palmito	34.66	3705	642	453	546
	Bot. Trinidad	44.57	1	499	352	425
	InPit	17.12	2073	1300	917	1105
	Chancadora	35.05	840	635	448	540
	Stock A	31.19	184	714	503	607
	Stock B	37.41	411	595	419	506
	Stock C	49.90	10	446	315	379
	Stock A7	40.19	474	554	391	471
	Bot. Palmito	26.20	362	849	599	722
	Bot. Trinidad	88.23	3	252	178	214
	InPit	11.36	3019	1959	1381	1665
Fase 4 4630	Bot. Palmito	26.84	25	829	585	705
	InPit	12.24	1283	1819	1282	1546

Fase 4 4645	Chancadora	47.70	1	467	329	397
	InPit	13.75	380	1618	1141	1376
Fase 5 4600	Chancadora	36.92	183	603	425	512
	Stock A	28.25	122	788	556	670
	Stock B	32.29	287	689	486	586
	Stock C	39.68	101	561	396	477
	Stock G	25.77	71	864	609	734
	Stock A7	42.59	57	523	368	444
	Bot. Palmito	33.40	319	666	470	566
	InPit	20.94	32	1063	749	904
Stock A	Chancadora	18.28	14414	1218	859	1035
Stock B	Chancadora	20.59	3844	1081	762	919
Stock D	Chancadora	24.04	499	926	653	787
Stock E	Chancadora	25.16	889	885	624	752
Stock X	Stock C	41.94	3413	531	374	451
	Stock G	12.54	87	1775	1252	1509
Promedio				673	475	572

Nota: Fuente elaboración propia

La productividad promedio durante el año 2020 fue de 475 ton/hr y la productividad máxima por hora fue de 572 ton/hr.

3.5 Planes de Mejora

Tomando como punto de partida el diagrama de Pareto en el cual se identifica que las demoras y/o reserva con mayor número de horas acumuladas son:

- Falta de operador
- Cambio de turno
- Refrigerio

Se establecerán los planes de acción que se aplicarán para reducir las demoras e incrementar la productividad de la flota de acarreo. Los costos asociados a los cálculos realizados son:

Tabla 3.6

Costos de operación en la operación minera en estudio

Descripción	Costo unitario (\$/ton)
Costo de Minado	1.16
Costo Mantenimiento Mina	0.97
Costo Procesamiento	4.62
Costo Mantenimiento Planta	3.79

Nota: Fuente elaboración propia

Los datos de mina que se han considerado para los cálculos son datos promedio.

Tabla 3.7*Valores de la planta metalúrgica en la operación minera en estudio*

Descripción	Valor
Ley de Cabeza	0.50%
Recuperación Metalúrgica	85.50%
Valor de 1 TM de Concentrado de CU (\$/ton)	6380.00

Nota: Fuente elaboración propia

La producción operativa del camión CAT 797 por hora es el siguiente:

Tabla 3.8*Producción operativa por hora de la flota de acarreo Caterpillar 797F en el año 2020.*

Flota	Productividad Promedio (ton/hr)
Caterpillar 797F	475.00

Nota: Fuente elaboración propia

El valor de la producción operativa por hora se obtuvo utilizando un reporte de productividad que considera la producción obtenida durante el 2020. También, se va a considerar la disponibilidad de la chancadora durante el año 2020, el cual fue de 90%.

Tabla 3.9*Disponibilidad mecánica de la chancadora en el año 2020.*

Equipo	Disponibilidad mecánica
Chancadora primaria	90%

Nota: Fuente elaboración propia

3.5.1 Plan de Mejora - Falta de operador

La reserva de Falta de Operador es el primer estado de mayor impacto durante el 2020, el tiempo acumulado fue 20,030 horas.

Tabla 3.10*Horas acumuladas por mes con el estado falta de operador*

Mes	Horas Disponibles	Horas Utilizadas	Falta de operador (hr)	Perdida de producción (ton)
Enero	18,243	14,768	373	177,066
Febrero	15,970	12,959	438	207,957
Marzo	18,537	11,599	2,979	1,414,964
Abril	18,451	6,408	4,279	2,032,451
Mayo	15,061	7,158	3,216	1,527,759
Junio	12,181	8,431	1,780	845,382
Julio	16,111	10,569	2,052	974,661
Agosto	16,076	10,474	1,765	838,178
Setiembre	16,132	12,882	958	454,926
Octubre	17,767	14,516	700	332,328
Noviembre	17,467	14,695	552	262,105
Diciembre	19,851	16,024	940	446,610

Nota: Fuente elaboración propia

En la tabla se muestra las horas registradas cada mes por la demora falta de operador, se observa que en los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio y agosto hubo un incremento significativo, esto es a raíz de las restricciones de personal por la pandemia. En la operación minera se tomó la decisión de priorizar el envío de mineral a chancadora.

El número de camiones promedio con el estado de falta de operador por día es el siguiente:

Tabla 3.11

Número de camiones promedio por día con el estado falta de operador

Mes	CM promedio con Falta de operador/día
Enero	1
Febrero	1
Marzo	4
Abril	6
Mayo	4
Junio	2
Julio	3
Agosto	2
Setiembre	1
Octubre	1
Noviembre	1
Diciembre	1

Nota: Fuente elaboración propia

En la tabla se puede observar que el número de camiones promedio por falta de operador/día varía de acuerdo con los meses.

El promedio obtenido de los camiones que se encuentran con la demora por falta de operador por día es 2 CM.

3.5.1.1. Plan de acción. Definido la causa del problema, que es el tener en promedio por día 2 CM parados por falta de operador, se considera el plan de contratar 2 operadores por guardia con el objetivo de reducir el estado de reserva falta de operador.

3.5.1.2 Inversión.

Tabla 3.12

Inversión del plan de mejora para reducir el estado falta de operador en la flota de acarreo

Contratar Operadores		
Numero de Operadores		8 (2 operadores por guardia)
Estimación		
Sueldo básico	S/	4,500.00
Pagos a cargo del Empleador		
Essalud 9%	S/	405.00
Gratificación Mensual	S/	750.00
Bonificación Extraordinaria	S/	57.00
Vacaciones Mensual	S/	316.67
CTS-Mensual	S/	369.44
Costo por Operador	S/	6,398.11
	\$	1,777.25

Nota: Fuente elaboración propia

3.5.1.3 Situación Actual.

Tabla 3.13

Perdida de producción de la mina debido al estado de reserva falta de operador

Mes	Horas Disponibles	Horas Utilizadas	CM Disponibles/día (Planeado)	CM Disponibles/día (Real)	Horas operativas planeado (CM/mes)	Falta de operador (hr)	Perdida de producción (ton)
Enero	18,243	14,768	24	25	497	373	177,066
Febrero	15,970	12,959	24	24	442	438	207,957
Marzo	18,537	11,599	24	25	448	2,979	1,414,964
Abril	18,451	6,408	25	26	354	4,279	2,032,451
Mayo	15,061	7,158	22	20	362	3,216	1,527,759
Junio	12,181	8,431	20	17	379	1,780	845,382
Julio	16,111	10,569	24	22	498	2,052	974,661
Agosto	16,076	10,474	24	22	496	1,765	838,178
Setiembre	16,132	12,882	24	22	481	958	454,926
Octubre	17,767	14,516	24	24	488	700	332,328
Noviembre	17,467	14,695	24	24	483	552	262,105
Diciembre	19,851	16,024	24	27	499	940	446,610

Nota: Fuente elaboración propia

3.5.1.4 Expectativa de la mejora. Disponibilidad del operador:

- Días programados = 180 días/año
- Vacaciones = 30 días/año
- Cursos de seguridad = 4 días/año
- Descanso medico = 2 días/año

$$\text{Disponibilidad del operador} = \frac{180 - 30 - 4 - 2}{180} = 80\%$$

Tabla 3.14

Reducción de las horas totales con el estado falta de operador luego de implementar el plan de mejora

Mes	Falta de operador (hr)	Tiempo adicional por el ingreso de los operadores	Tiempo Final - Falta de operador	Reducción de las horas por Falta de Operador (hr)	Incremento de la producción (ton)	Tonelaje a Chancadora (ton)	Valor de Mineral	Costo Minado + Procesamiento	Costo Iniciativa	Utilidad
Enero	373	795	-	373	177,066	52,589	\$ 1,434,330	\$ 819,422	\$ 14,218	\$ 600,690
Febrero	438	707	-	438	207,957	61,763	\$ 1,684,562	\$ 962,378	\$ 14,218	\$ 707,966
Marzo	2,979	717	2,262	717	340,515	101,133	\$ 2,758,350	\$ 1,575,825	\$ 14,218	\$ 1,168,307
Abril	4,279	567	3,712	567	269,232	79,962	\$ 2,180,917	\$ 1,245,942	\$ 14,218	\$ 920,758
Mayo	3,216	579	2,637	579	275,126	81,713	\$ 2,228,668	\$ 1,273,222	\$ 14,218	\$ 941,229
Junio	1,780	606	1,174	606	287,936	85,517	\$ 2,332,434	\$ 1,332,502	\$ 14,218	\$ 985,714
Julio	2,052	798	1,254	798	378,827	112,512	\$ 3,068,698	\$ 1,753,124	\$ 14,218	\$ 1,301,356
Agosto	1,765	794	971	794	377,003	111,970	\$ 3,053,925	\$ 1,744,684	\$ 14,218	\$ 1,295,023
Setiembre	958	770	188	770	365,714	108,617	\$ 2,962,476	\$ 1,692,441	\$ 14,218	\$ 1,255,818
Octubre	700	781	-	700	332,328	98,701	\$ 2,692,032	\$ 1,537,938	\$ 14,218	\$ 1,139,876
Noviembre	552	772	-	552	262,105	77,845	\$ 2,123,185	\$ 1,212,960	\$ 14,218	\$ 896,007
Diciembre	940	799	142	799	379,317	112,657	\$ 3,072,664	\$ 1,755,390	\$ 14,218	\$ 1,303,056

Nota: Fuente elaboración propia

3.5.1.5 Plan de Mejora - Cambio de Turno. La demora de Cambio de turno es la

segunda demora de mayor impacto durante el 2020, el tiempo acumulado fue 8,757 horas

Tabla 3.15

Horas acumuladas por mes con la demora cambio de turno

	Horas Disponibles	Horas Utilizadas	Cambio de turno (hr)	Perdida de producción (ton)
Enero	18,243	14,768	1,267	601,647
Febrero	15,970	12,959	1,083	514,474
Marzo	18,537	11,599	833	395,565
Abril	18,451	6,408	382	181,640
Mayo	15,061	7,158	446	211,968
Junio	12,181	8,431	294	139,753
Julio	16,111	10,569	1,007	478,416
Agosto	16,076	10,474	758	359,855
Setiembre	16,132	12,882	948	450,251
Octubre	17,767	14,516	606	287,911
Noviembre	17,467	14,695	510	242,413
Diciembre	19,851	16,024	623	295,722

Nota: Fuente elaboración propia

En la tabla se muestra la cantidad de horas acumuladas cada mes por la demora Cambio de Turno y la perdida de producción que se ha tenido durante el periodo 2020.

El número de camiones promedio con la demora por cambio de turno día es el siguiente:

Tabla 3.16

Número de camiones promedio por día con la demora cambio de turno

	Número de camiones con demora por cambio de turno (CM/día)
Enero	46
Febrero	45
Marzo	32
Abril	18
Mayo	20
Junio	27
Julio	32
Agosto	31
Setiembre	39
Octubre	34
Noviembre	36
Diciembre	37

Fuente: Elaboración propia

El número promedio de camiones que colocan la demora de cambio de turno por día es 33 CM, por lo tanto, se considerara dicho valor para realizar los cálculos.

3.5.1.6 Plan de acción.

- Se ha identificado a través de los datos recolectados que se tiene un problema en el cambio de turno y el promedio de camiones que colocan la demora es de 33 camiones/día.

- El plan de acción comprende incentivar a los operadores a realizar sobretiempo hasta que la guardia entrante solicite la ubicación del equipo y se reanude la operación. El incentivo es adicionar un 75% al valor de hora extra.

3.5.1.7 Inversión.

Tabla 3.17

Inversión del plan de mejora para reducir la demora cambio de turno en la flota de acarreo

Pago de hora extra a los trabajadores		
Número de operadores/día		33
Hora extra/mes		858
Sueldo Básico- Operador	S/	4,500.00
Valor de 1 hora de trabajo	S/	18.75
Valor de 1 hora extra	S/	23.44
Bono por apoyo a la operación	S/	14.06
Inversión Mensual	S/	32,175.00
	\$	8,937.50

Nota: Fuente elaboración propia

Para el cálculo solo se considera 26 días promedio ya que debido al régimen atípico de la operación (07x07), no se podrá realizar hora extra cuando sea día de cambio de guardia.

3.5.1.8 Situación Actual.

Tabla 3.18

Perdida de producción de la mina debido a la demora Cambio de turno

Mes	Horas Disponibles	Horas Utilizadas	CM Disponibles/día (Planeado)	CM Disponibles/día (Real)	Horas operativas planeado (CM/mes)	Cambio de turno (hr)	Perdida de producción (ton)
Enero	18,243	14,768	24	25	497	1,267	601,647
Febrero	15,970	12,959	24	24	442	1,083	514,474
Marzo	18,537	11,599	24	25	448	833	395,565
Abril	18,451	6,408	25	26	354	382	181,640
Mayo	15,061	7,158	22	20	362	446	211,968
Junio	12,181	8,431	20	17	379	294	139,753
Julio	16,111	10,569	24	22	498	1,007	478,416
Agosto	16,076	10,474	24	22	496	758	359,855
Setiembre	16,132	12,882	24	22	481	948	450,251
Octubre	17,767	14,516	24	24	488	606	287,911
Noviembre	17,467	14,695	24	24	483	510	242,413
Diciembre	19,851	16,024	24	27	499	623	295,722

Nota: Fuente elaboración propia

Se observa que durante el periodo 2020 en los meses de abril, mayo y junio se redujo las horas de cambio de turno, esto debido a que la empresa brindo un incentivo económico a los operadores que decidieron quedarse en la operación a pesar de las restricciones por el contexto de la pandemia global de COVID-19.

3.5.1.9 Expectativa de la mejora. Para tener un cálculo real, seleccionamos un escenario conservador, se ha considerado el 70% de aceptación del personal para realizar 01 hora extra y por los registros que existen en el sistema de gestión de flota, la hora extra es en realidad 45 minutos ya que el personal deja el equipo a las 7:00 am/pm y el operador de la guardia entrante se registra en el equipo a las 7:45 am/pm aproximadamente.

Tabla 3.19

Reducción de las horas totales con la demora cambio de turno luego de implementar el plan de mejora.

Mes	Cambio de Turno (hr)	Tiempo adicional por la hora extra	Tiempo Final - Cambio de Turno	Reducción de la demora Cambio de Turno(hr)	Incremento de la producción (ton)	Tonelaje a Chancadora (ton)	Valor de Mineral	Costo Minado + Procesamiento	Costo Iniciativa	Utilidad
Enero	1,267	468	799	468	222,193	65,991	\$ 1,799,881	\$ 1,028,259	\$ 8,938	\$ 762,685
Febrero	1,083	416	667	416	197,505	58,659	\$ 1,599,894	\$ 914,008	\$ 8,938	\$ 676,949
Marzo	833	468	365	468	222,193	65,991	\$ 1,799,881	\$ 1,028,259	\$ 8,938	\$ 762,685
Abril	382	450	-	382	181,640	53,947	\$ 1,471,383	\$ 840,590	\$ 8,938	\$ 621,855
Mayo	446	468	-	446	211,968	62,954	\$ 1,717,050	\$ 980,938	\$ 8,938	\$ 727,175
Junio	294	450	-	294	139,753	41,507	\$ 1,132,076	\$ 646,747	\$ 8,938	\$ 476,392
Julio	1,007	468	539	468	222,193	65,991	\$ 1,799,881	\$ 1,028,259	\$ 8,938	\$ 762,685
Agosto	758	468	290	468	222,193	65,991	\$ 1,799,881	\$ 1,028,259	\$ 8,938	\$ 762,685
Setiembre	948	450	497	450	213,964	63,547	\$ 1,733,219	\$ 990,175	\$ 8,938	\$ 734,107
Octubre	606	468	138	468	222,193	65,991	\$ 1,799,881	\$ 1,028,259	\$ 8,938	\$ 762,685
Noviembre	510	450	60	450	213,964	63,547	\$ 1,733,219	\$ 990,175	\$ 8,938	\$ 734,107
Diciembre	623	468	155	468	222,193	65,991	\$ 1,799,881	\$ 1,028,259	\$ 8,938	\$ 762,685

Nota: Fuente elaboración propia

3.5.2 Plan de Mejora - Refrigerio

La demora de Refrigerio es la tercera demora de mayor impacto durante el 2020, el tiempo acumulado fue 6,373 horas.

Tabla 3.20

Horas acumuladas por mes con la demora de refrigerio

Mes	Horas Disponibles	Horas Utilizadas	Horas operativas planeado (CM/mes)	Refrigerio (hr)	Perdida de producción (ton)
Enero	18,243	14,768	497	401	190,599
Febrero	15,970	12,959	442	443	210,601
Marzo	18,537	11,599	448	405	192,438
Abril	18,451	6,408	354	507	240,817
Mayo	15,061	7,158	362	698	331,578
Junio	12,181	8,431	379	659	313,062
Julio	16,111	10,569	498	723	343,280
Agosto	16,076	10,474	496	758	359,913
Setiembre	16,132	12,882	481	412	195,898
Octubre	17,767	14,516	488	466	221,418
Noviembre	17,467	14,695	483	312	147,964
Diciembre	19,851	16,024	499	589	279,693

Nota: Fuente elaboración propia

En la tabla se muestra la cantidad de horas registradas cada mes por la demora Refrigerio durante el periodo 2020, se observa un incremento en el tiempo total acumulado durante los meses julio y agosto.

Se analiza los datos de las demoras registradas durante el periodo 2020, el tiempo promedio de refrigerio fue de 52 min.

Tabla 3.21

Tiempo promedio de refrigerio en la mina donde se realizó el estudio

Demora	Tiempo promedio (min)
Refrigerio	52

Nota: fuente elaboración propia

Se analizó también las actividades que realiza el operador de camión cuando es asignado a pasar refrigerio.

Las actividades de refrigerio varían de acuerdo con el turno en el cual están trabajando:

- **Turno día**

Durante el turno día, el operador recibe el mensaje del Controlador de mina indicando que deberá parquear su equipo para pasar refrigerio, en la operación se tiene 2 zonas de parqueo seguras donde se deberá dejar el equipo y luego abordar un minibús que lo trasladará desde la zona de parqueo al comedor de la operación minera, ya cuando el operador esté en el comedor deberá hacer una pequeña cola hasta que pueda ingresar al comedor y recibir los alimentos correspondientes.

Las actividades durante la demora de refrigerio son:

Tabla 3.22

Detalle de las actividades durante el refrigerio de los operadores en el turno día

Actividades	Tiempo promedio (min)
Tiempo de traslado (Equipo al Comedor)	7
Tiempo en cola para ingresar al comedor	10
Tiempo de refrigerio	28
Tiempo de traslado (Comedor al Equipo)	7

Nota: Fuente elaboración propia

- **Turno noche**

Durante el turno noche, los operadores también tienen derecho a 1 hora de refrigerio, ellos pueden decidir si ingieren sus alimentos o si aprovechan en descansar en su equipo, usualmente suelen descansar en su equipo, cuando ya está por cumplirse el tiempo de su refrigerio, el controlador los llama por la radio para que se pongan nuevamente operativos, en caso no tenga respuesta es apoyado por la supervisión en campo para poder despertarlos.

Las actividades durante la demora de refrigerio son:

Tabla 3.23

Detalles de las actividades durante el refrigerio de los operadores en el turno noche

Actividades	Tiempo promedio (min)
Tiempo de refrigerio	45
Tiempo de encendido del equipo	7

Nota: Fuente elaboración propia

3.5.2.1 Plan de acción.

- Debido a las actividades registradas durante la demora de Refrigerio tanto en el turno día como en el turno noche, solo nos enfocaremos en reducir la demora de refrigerio para el turno día, ya que en la noche es un poco más complicado debido a que por motivos de seguridad no está permitido reducir el tiempo de descanso de los operadores.

- Para mejorar el tiempo de refrigerio en el turno día, se cambiará el método de refrigerio, los operadores deberán pasar refrigerio en sus equipos en los 02 parqueos habilitados.

- Todos los operadores deberán inscribirse para realizar el nuevo método de refrigerar, se le reconocerá el valor de 1 hora extra de trabajo en el tareo ya que están contribuyendo a incrementar la productividad de la operación.

- Se está considerando el 80% de operadores de camión en el cálculo debido a lo siguiente:

- Baja disponibilidad de CM
- Operadores prefieren pasar refrigerio en el comedor
- Proceso de voladura por lo cual algunos operadores pueden ir a refrigerar al comedor

Tabla 3.24

Inversión del plan de mejora para reducir la demora refrigerio en la flota de acarreo

Pago de bono por refrigerio a los operadores		
Numero de operadores/día		20
Bono por refrigerio	S/	23.44
Inversión Mensual	S/	14,064
	\$	3,907

Nota: Fuente elaboración propia

3.5.2.2 Situación actual.

Tabla 3.25

Perdida de producción en la mina debido a la demora refrigerio

Mes	Horas Disponibles	Horas Utilizadas	Horas operativas planeado (CM/mes)	Refrigerio (hr)	Perdida de producción (ton)
Enero	18,243	14,768	497	401	190,599
Febrero	15,970	12,959	442	443	210,601
Marzo	18,537	11,599	448	405	192,438
Abril	18,451	6,408	354	507	240,817
Mayo	15,061	7,158	362	698	331,578
Junio	12,181	8,431	379	659	313,062
Julio	16,111	10,569	498	723	343,280
Agosto	16,076	10,474	496	758	359,913
Setiembre	16,132	12,882	481	412	195,898
Octubre	17,767	14,516	488	466	221,418
Noviembre	17,467	14,695	483	312	147,964
Diciembre	19,851	16,024	499	589	279,693

Nota: Fuente elaboración propia

En el registro de la demora de refrigerio se observa una cantidad de horas más constante sin tanta variación a excepción de los meses de julio y agosto.

3.5.2.3 Expectativa de la mejora. Luego de implementado el plan de mejora para reducir la demora refrigerio, se espera reducir el tiempo de refrigerio durante el turno día en 37% con los operadores que participen en el proyecto. Por lo cual el nuevo tiempo promedio de refrigerio en el turno día será de 33 minutos.

Las nuevas actividades durante el turno día seria:

Tabla 3.26

Detalle de las actividades en el refrigerio luego de implementar el plan de mejora

Actividades	Tiempo promedio (min)
Tiempo de recepción del refrigerio	5
Tiempo de refrigerio	28

Nota: Fuente elaboración propia

Como ya se había comentado la demora por refrigerio durante el turno noche no sufrirá variación ya que se está priorizando el descanso de los operadores, se mantendrá en 52 min.

Por lo cual el tiempo promedio estimado será:

$$\text{Refrigerio} = \frac{20(33) + 5(52) + 25(52)}{50} = 44.4 \text{ min}$$

Conclusión, se logrará reducir el tiempo de refrigerio por día en 14.6% y usaremos este valor para estimar el incremento de producción en la flota de acarreo.

Tabla 3.27

Reducción de las horas totales con la demora refrigerio luego de implementar el plan de mejora

Mes	Refrigerio (hr)	Reducción de la demora Refrigerio (hr)	Tiempo final Refrigerio (hr)	Incremento de la producción (ton)	Tonelaje a chancadora	Valor de Mineral	Costo Minado + Procesamiento	Costo Iniciativa	Utilidad
Enero	401	59	342	27,809	8,259	\$ 225,270	\$ 128,695	\$ 3,907	\$ 92,668
Febrero	443	65	379	30,748	9,132	\$ 249,073	\$ 142,293	\$ 3,907	\$ 102,873
Marzo	405	59	346	28,096	8,344	\$ 227,592	\$ 130,021	\$ 3,907	\$ 93,664
Abril	507	74	433	35,159	10,442	\$ 284,809	\$ 162,709	\$ 3,907	\$ 118,193
Mayo	698	102	596	48,410	14,378	\$ 392,150	\$ 224,032	\$ 3,907	\$ 164,211
Junio	659	96	563	45,707	13,575	\$ 370,251	\$ 211,522	\$ 3,907	\$ 154,823
Julio	723	106	617	50,119	14,885	\$ 405,990	\$ 231,939	\$ 3,907	\$ 170,144
Agosto	758	111	647	52,547	15,607	\$ 425,660	\$ 243,177	\$ 3,907	\$ 178,577
Setiembre	412	60	352	28,601	8,495	\$ 231,684	\$ 132,360	\$ 3,907	\$ 95,418
Octubre	466	68	398	32,327	9,601	\$ 261,865	\$ 149,602	\$ 3,907	\$ 108,357
Noviembre	312	45	266	21,603	6,416	\$ 174,993	\$ 99,972	\$ 3,907	\$ 71,114
Diciembre	589	86	503	40,835	12,128	\$ 330,787	\$ 188,976	\$ 3,907	\$ 137,904

Nota: Fuente elaboración propia

Capítulo IV. Análisis de Resultados

4.1 Análisis de los planes de mejora

En las 03 iniciativas que se sugiere realizar, se estimó un tiempo de implementación y desarrollo de 01 año, después de realizar los cálculos de utilización, costo total y utilidad, se observa un incremento de utilización que varía de forma directamente proporcional al costo total de la iniciativa.

Los planes de mejora que estamos desarrollando son:

4.1.1 *Resultados del plan de mejora para reducir la demora Falta de Operador*

Para poder disminuir la demora de falta de operador durante el periodo de 1 año, se requiere la inversión de 17,076,443 USD, la utilidad que se podrá obtener será de 12,515,801 USD y la utilización durante el año en el cual se aplique este proyecto se incrementará de 69.60% a 73.41%, es decir se incrementaría en 3.81% reduciendo el total de horas por falta de operador de 20,030 horas a 12,339 horas.

Tabla 4.1

Utilidad del Plan de mejora para reducir el estado falta de operador

Resultados 2020	
Horas Disponibles	201,848
Horas Utilizadas	140,483
Falta de operador (hr)	20,030
Utilización efectiva 2020	69.60%
Plan de mejora	
Horas Disponibles	201,848
Horas utilizadas	148,174
Falta de operador (hr)	12,339
Utilización efectiva	73.41%
Incremento de Utilización efectiva	3.81%
Costo Total	\$ 17,076,443
Utilidad	\$ 12,515,801

Nota: Fuente elaboración propia

Para obtener el índice de Beneficio – Costo, dividimos el beneficio y el costo totales del proyecto. El índice de B/C obtenido es de 1.73, lo cual indica que tenemos un proyecto viable y que por cada dólar invertido estaríamos obteniendo un retorno de 1.73 \$.

Tabla 4.2

Relación beneficio-costo del plan de mejora para reducir el estado falta de operador

Indicador	Valor
Beneficio - Costo	1.73

Nota: Fuente elaboración propia

4.1.2 Resultados del plan de mejora para reducir la demora Cambio de Turno

Para poder disminuir la demora de cambio de turno durante el periodo de 1 año, se requiere la inversión de 11,639,434 USD, la utilidad que se podrá obtener será de 8,546,695 USD y la utilización durante el año en el cual se aplique este proyecto se incrementará de 69.60% a 72.20%, es decir se incrementaría en 2.60% reduciendo la cantidad de horas por cambio de turno de 8,757 a 3,511 horas.

Tabla 4.3*Utilidad del plan de mejora para reducir la demora Cambio de Turno*

Resultados 2020		
Horas Disponibles		201,848
Horas Utilizadas		140,483
Cambio de turno (hr)		8,757
Utilización efectiva 2020		69.60%
Plan de mejora		
Horas Disponibles		201,848
Horas utilizadas		145,729
Cambio de turno (hr)		3,511
Utilización efectiva		72.20%
Incremento de Utilización efectiva		2.60%
Costo Total	\$	11,639,434
Utilidad	\$	8,546,695

Nota: Fuente elaboración propia

El índice de B/C obtenido es de 1.73, lo cual indica que tenemos un proyecto viable y que de igual forma que el primer proyecto de falta de operador, por cada dólar invertido se tendrá un retorno de 1.73\$.

Tabla 4.4*Relación beneficio-costo del plan de mejora para reducir la demora cambio de turno*

Indicador	Valor
Beneficio - Costo	1.73

Nota: Fuente elaboración propia

4.1.3 Resultados del plan de mejora para reducir la demora Refrigerio

Para poder disminuir la demora de refrigerio durante el periodo de 1 año, se requiere la inversión de 2,092,178 USD, la utilidad que se podrá obtener será de 1,487,946 USD y la utilización durante el año en el cual se aplique este proyecto se incrementará de 69.60% a 70.06%, es decir se incrementaría en 0.46% reduciendo la cantidad de horas por refrigerio de 6,373 a 5,442 horas.

Tabla 4. 5

Utilidad del plan de mejora para reducir la demora refrigerio

Resultados 2020	
Horas Disponibles	201,848
Horas Utilizadas	140,483
Refrigerio (hr)	6,373
Utilización efectiva 2020	69.60%
Plan de mejora	
Horas Disponibles	201,848
Horas utilizadas	141,413
Refrigerio (hr)	5,442
Utilización efectiva	70.06%
Incremento de Utilización efectiva	0.46%
Costo Total	\$ 2,092,178
Utilidad	\$ 1,487,946

Nota: Fuente elaboración propia

El índice de B/C obtenido es de 1.64, lo cual indica que tenemos un proyecto viable y por cada dólar invertido se tendrá un retorno de 1.64\$.

Tabla 4.6

Relación beneficio-costos del plan de mejora para reducir la demora refrigerio

Indicador	Valor
Beneficio - Costo	1.64

Nota: Fuente elaboración propia

4.1.4 Incremento de la Productividad

Debido a la reducción de las principales demoras como Falta de Operador, Cambio de turno y Refrigerio, la eficiencia de la operación ha variado y debe ser calculado nuevamente.

Los nuevos valores para el cálculo son:

- Tiempo Total de operación = 173877 hr
- Tiempo de Operación Efectiva = 155541 hr

$$\%Eff = \frac{\text{Tiempo de Operación Efectiva}}{\text{Tiempo Total de Operación}} * 100$$

$$\%Eff = \frac{155541}{173877} * 100 = 0.89$$

Una vez obtenido el valor de la eficiencia, se procede a calcular los valores de productividad de acuerdo con la ruta de acarreo.

Tabla 4.7

Productividad de la flota de acarreo CAT 797F por origen de carguío luego de la implementación de los planes de mejora.

Origen	Destino	Tiempo de ciclo (min)	Número de ciclos	Productividad Teórica (ton/hr)	Productividad Promedio (ton/hr)	Productividad Máxima por hora (ton/hr)
Fase 2 4390	Chancadora	52.15	792	427	340	380
	Stock A	45.45	522	490	390	436
	Stock B	44.30	3	502	400	447
	Stock C	46.26	191	481	383	428
	Stock E	54.71	25	407	324	362
	Bot. Palmito	77.93	2	286	228	254
	InPit	22.02	209	1011	806	900
Fase 2 4405	Chancadora	45.15	3133	493	393	439
	Stock A	41.12	452	541	431	482
	Stock B	45.24	181	492	392	438
	Stock C	52.08	1137	427	341	380
	Stock D	39.79	202	559	446	498
	Stock E	37.11	160	600	478	534
	Stock G	32.60	44	683	544	608
	Stock A7	53.42	5	417	332	371
	Bot. Palmito	48.04	6	463	369	412
	InPit	24.86	62	895	713	797
Fase 2 4420	Chancadora	43.98	3954	506	403	450
	Stock A	39.84	1690	559	445	497
	Stock B	46.94	88	474	378	422
	Stock C	49.05	1480	454	362	404
	Stock D	36.59	79	608	485	541
	Stock G	34.29	234	649	517	578
	Stock A7	56.83	1	392	312	349
	Bot. Palmito	36.94	3	603	480	536
InPit	32.50	39	685	546	610	
Fase 2 4435	Chancadora	45.42	4521	490	391	436
	Stock A	41.47	1427	537	428	478
	Stock B	43.95	519	506	404	451
	Stock C	50.85	1552	438	349	390
	Stock G	43.16	4	516	411	459
	Stock X	32.01	864	695	554	619
	Stock A7	34.61	2	643	512	572
	Bot. Palmito	51.63	1	431	344	384
	InPit	17.54	242	1269	1011	1130
Fase 2 4450	Chancadora	45.15	8493	493	393	439
	Stock A	42.19	1105	528	420	470
	Stock B	47.31	454	471	375	419
	Stock C	47.77	2415	466	371	415
	Stock D	59.80	1	372	297	331
	Stock G	33.23	238	670	534	596
	Bot. Palmito	50.26	46	443	353	394
	InPit	30.61	218	727	579	647

	Chancadora	45.59	4974	488	389	435
	Stock A	46.68	1323	477	380	424
	Stock B	48.66	155	457	365	407
	Stock C	52.86	2412	421	336	375
Fase 2 4465	Stock D	35.42	1	628	501	559
	Stock X	83.83	1	266	212	236
	Stock A7	51.63	713	431	344	384
	Bot. Palmito	34.34	5	648	517	577
	InPit	24.42	551	912	726	811
	Chancadora	44.66	3186	498	397	444
	Stock A	42.10	772	529	421	471
	Stock B	43.77	179	509	405	453
	Stock C	52.45	1940	424	338	378
Fase 2 4480	Stock D	41.78	1	533	425	474
	Stock X	17.70	1	1258	1002	1119
	Stock A7	50.33	314	442	352	394
	Bot. Palmito	45.14	93	493	393	439
	Bot. Trinidad	56.95	1	391	311	348
	InPit	21.17	523	1051	838	936
	Stock B	54.20	1	411	327	366
Fase 2 4495	Stock C	51.39	74	433	345	385
	Stock A7	52.08	246	427	341	380
	Bot. Palmito	39.71	5	561	447	499
	InPit	37.53	316	593	473	528
Fase 2 4555	Chancadora	46.63	53	477	380	425
	Stock C	52.55	2	424	338	377
Fase 2 4570	Stock G	30.97	55	719	573	640
	InPit	29.69	10	750	597	667
Fase 2 4585	Stock C	47.04	53	473	377	421
	Stock G	66.08	2	337	268	300
	Chancadora	55.33	2	402	321	358
Fase 2 4600	Stock C	44.60	23	499	398	444
	Stock G	30.73	1	724	577	645
	Stock A7	47.10	63	473	377	421
	Bot. Palmito	35.28	118	631	503	561
	Bot. Trinidad	43.86	99	508	404	452
	InPit	32.00	42	696	554	619
	Chancadora	34.63	1	643	512	572
Fase 2 4615	Stock A	28.42	2	783	624	697
	Stock B	35.57	7	626	499	557
	Stock A7	40.10	6	555	442	494
	Bot. Palmito	12.50	1	1781	1419	1585
	InPit	9.53	67	2336	1861	2079
	Chancadora	42.49	2612	524	417	466
Fase 3 4540	Stock A	38.68	303	575	459	512
	Stock B	44.42	7	501	399	446
	Stock C	49.91	462	446	355	397
	Stock E	33.81	92	658	525	586
	Stock G	29.09	40	765	610	681
	Stock A7	53.38	99	417	332	371
	Bot. Palmito	40.12	96	555	442	494
	Bot. Trinidad	25.97	3	857	683	763

	Chancadora	39.38	2419	565	450	503
	Stock A	35.80	279	622	495	553
	Stock B	37.99	208	586	467	521
	Stock C	45.52	1058	489	390	435
Fase 3 4555	Stock D	32.83	2	678	540	603
	Stock E	32.50	365	685	546	610
	Stock G	23.71	466	939	748	836
	Stock A7	43.95	351	506	404	451
	Bot. Palmito	33.67	78	661	527	588
	Bot. Trinidad	31.03	8	717	572	638
	Chancadora	37.88	3484	588	468	523
	Stock A	34.87	731	638	509	568
	Stock B	33.13	346	672	535	598
	Stock C	44.27	2372	503	401	448
	Stock D	30.90	391	720	574	641
Fase 3 4570	Stock E	31.30	192	711	567	633
	Stock G	22.57	821	986	786	878
	Stock X	43.43	742	513	408	456
	Bot. Palmito	36.63	574	608	484	541
	Bot. Trinidad	33.39	24	667	531	593
	InPit	19.63	56	1134	904	1009
	Chancadora	38.09	3958	584	466	520
	Stock A	33.32	1295	668	532	595
	Stock B	35.59	2076	625	498	557
	Stock C	41.18	1538	541	431	481
	Stock D	19.94	2015	1116	890	994
Fase 3 4585	Stock G	19.80	973	1124	896	1001
	Stock A7	43.50	6	512	408	455
	Bot. Palmito	34.71	1436	641	511	571
	Bot. Trinidad	48.35	150	460	367	410
	InPit	25.59	112	870	693	774
	Stock G	30.89	53	721	574	641
	Stock A7	33.51	54	664	529	591
Fase 3 4750	Bot. Palmito	26.25	1	848	676	755
	Bot. Trinidad	34.78	440	640	510	570
	InPit	27.37	109	813	648	724
	Chancadora	37.88	4464	588	468	523
	Stock A	33.18	373	671	535	597
	Stock B	38.06	1154	585	466	521
	Stock C	40.61	1072	548	437	488
	Stock G	19.22	2687	1158	923	1031
Fase 3 4600	Stock X	18.52	7	1202	958	1070
	Stock A7	39.38	2094	565	450	503
	Bot. Palmito	40.54	764	549	438	489
	Bot. Trinidad	44.82	286	497	396	442
	InPit	17.59	884	1265	1008	1126
	Chancadora	40.90	1494	544	434	484
	Stock A	39.67	1210	561	447	499
	Stock B	39.37	459	565	451	503
	Stock C	47.29	1956	471	375	419
	Stock D	57.35	1	388	309	345
Fase 3 4615	Stock G	34.41	331	647	516	576
	Stock A7	41.08	3400	542	432	482
	Bot. Palmito	43.29	355	514	410	458
	Bot. Trinidad	46.85	1116	475	379	423
	InPit	26.75	773	832	663	741

	Stock A	43.93	6	507	404	451
	Stock C	45.49	43	489	390	436
Fase 3 4630	Stock A7	41.27	1425	539	430	480
	Bot. Trinidad	41.35	449	538	429	479
	InPit	30.54	65	729	581	649
	Chancadora	37.77	1165	589	470	525
	Stock A	33.74	373	660	526	587
	Stock B	33.95	329	656	522	584
	Stock C	41.20	1698	540	431	481
Fase 4 4570	Stock E	25.80	276	863	687	768
	Stock G	24.04	900	926	738	824
	Stock A7	43.23	2265	515	410	458
	Bot. Palmito	35.16	588	633	504	563
	InPit	24.49	241	909	724	809
	Chancadora	34.40	1264	647	516	576
	Stock A	27.41	624	812	647	723
	Stock B	30.72	718	725	577	645
	Stock C	37.65	3783	591	471	526
Fase 4 4585	Stock D	24.44	60	911	726	811
	Stock G	20.71	6085	1075	857	957
	Stock A7	43.21	116	515	411	459
	Bot. Palmito	30.28	1344	735	586	654
	InPit	15.02	195	1482	1181	1319
	Chancadora	37.72	1542	590	470	525
	Stock A	32.80	643	679	541	604
	Stock B	34.79	443	640	510	569
	Stock C	40.38	3180	551	439	491
	Stock G	18.30	669	1216	969	1083
Fase 4 4600	Stock X	25.76	105	864	689	769
	Stock A7	41.05	5884	542	432	483
	Bot. Palmito	34.66	3705	642	512	572
	Bot. Trinidad	44.57	1	499	398	445
	InPit	17.12	2073	1300	1036	1157
	Chancadora	35.05	840	635	506	565
	Stock A	31.19	184	714	569	635
	Stock B	37.41	411	595	474	530
	Stock C	49.90	10	446	355	397
Fase 4 4615	Stock A7	40.19	474	554	441	493
	Bot. Palmito	26.20	362	849	677	756
	Bot. Trinidad	88.23	3	252	201	225
	InPit	11.36	3019	1959	1561	1743
Fase 4 4630	Bot. Palmito	26.84	25	829	661	738
	InPit	12.24	1283	1819	1449	1619
Fase 4 4645	Chancadora	47.70	1	467	372	415
	InPit	13.75	380	1618	1290	1440
	Chancadora	36.92	183	603	480	537
	Stock A	28.25	122	788	628	701
	Stock B	32.29	287	689	549	614
Fase 5 4600	Stock C	39.68	101	561	447	499
	Stock G	25.77	71	864	688	769
	Stock A7	42.59	57	523	416	465
	Bot. Palmito	33.40	319	666	531	593
	InPit	20.94	32	1063	847	946
Stock A	Chancadora	18.28	14414	1218	970	1084
Stock B	Chancadora	20.59	3844	1081	862	962
Stock D	Chancadora	24.04	499	926	738	824
Stock E	Chancadora	25.16	889	885	705	787
Stock X	Stock C	41.94	3413	531	423	472
	Stock G	12.54	87	1775	1414	1580
	Promedio			673	537	599

Nota: Fuente elaboración propia

La Productividad Promedio que se obtuvo es de 537 ton/hr, si lo comparamos con el valor de Productividad antes de la implementación de los planes de mejora, 475 ton/hr, se puede decir que hay un incremento del 13%.

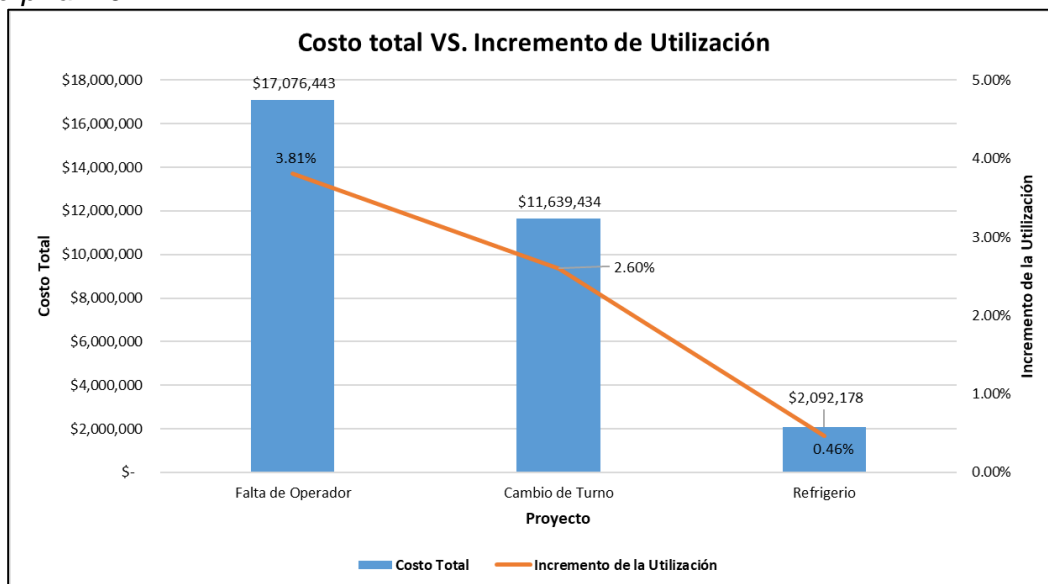
4.2 Análisis gráfico de resultados

4.2.1 Costo total VS. Incremento de utilización

El primer gráfico a analizar es el del Costo total VS. El incremento de la utilización se puede observar que el costo total de cada proyecto tiene una relación directamente proporcional con el incremento de utilización obtenido para la flota de acarreo de camiones Caterpillar 797F.

Figura 4.1

Costo total del plan de mejora e incremento de la utilización efectiva en la flota de acarreo Caterpillar 797F.



Nota: Fuente elaboración propia

En el análisis realizado previamente observamos que en los 3 proyectos de mejora el índice beneficio/costo son casi iguales, pero si analizamos el incremento de utilización si tendremos una diferencia considerable en cuanto a los resultados de utilidad que se pueden obtener.

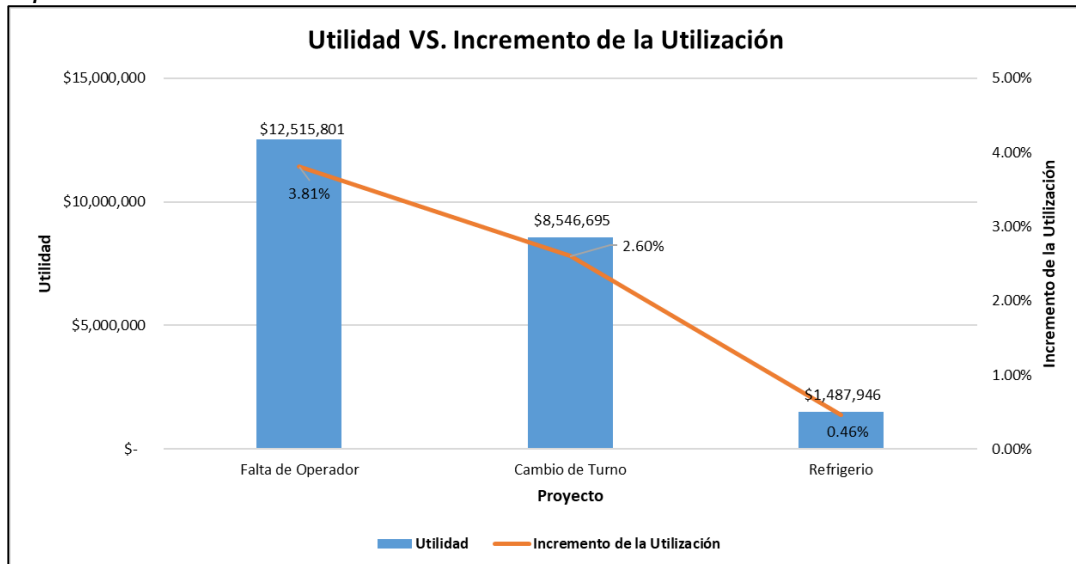
4.2.2 Utilidad VS. Incremento de Utilización

El segundo gráfico a analizar es el de Utilidad VS. Incremento de la utilización, en este gráfico también se observa la relación directamente proporcional entre la utilidad

obtenida por cada proyecto de mejora y el incremento de la utilización en la flota de acarreo de camiones Caterpillar 797F.

Figura 4.2

Utilidad del plan de mejora e incremento de la utilización efectiva en la flota de acarreo Caterpillar 797F.



Nota: Fuente elaboración propia

El proyecto de mejora que ofrece la mayor utilidad corresponde al reducir las horas por falta de operador y el proyecto que tiene la menor utilidad es al reducir las horas acumuladas por refrigerio.

Si se desea priorizar los proyectos de mejora propuestos se deberá considerar el presupuesto disponible de la compañía para el año en el cual se implementará los proyectos.

Conclusiones

La productividad promedio tendría un incremento del 13% al aplicar los planes de mejora sugeridos en el presente trabajo, se incrementaría de 475 ton/hr a 537 ton/hr.

Las demoras operativas generadas por falta de operador en la flota de acarreo impactan con alrededor de 3.81% en la utilización y por ende en la productividad de la operación.

Asimismo, la demoras durante el cambio de turno impactan en la utilización de la flota de acarreo en al menos 2.72%.

De otro lado, las demoras observadas durante el refrigerio también impactan alrededor de 0.46% en la utilización de los equipos de acarreo.

El costo total del plan de mejora para reducir la demora Cambio de turno es de \$ 11,639,434 y la utilidad estimada es de \$ 8,546,695.

El costo total del plan de mejora para reducir la demora Falta de operador es de \$,076443 y la utilidad estimada es de \$ 12,515,801.

El costo total del plan de mejora para reducir la demora refrigerio es de \$ 2,092,178 y la utilidad estimada es de \$ 1,487,946.

Lo expuesto previamente, demuestra la existencia de un amplio margen de mejora en la capacidad de análisis de la información recolectada por el sistema gestión de la flota de acarreo en minas a tajo abierto que permita reducir las demoras operativas y se pueda estimar el impacto económico de identificar y capitalizar tales oportunidades.

Recomendaciones

Se tiene la oportunidad de analizar las demoras que tienen menor cantidad de horas acumuladas durante el año 2020, por ejemplo: abastecimiento de combustible, cola en grifo, etc. Ya que también se podrán elaborar planes de mejora para reducir e incrementar la utilización de la flota de acarreo de camiones Caterpillar 797F.

Se recomienda realizar la presentación a la gerencia general mostrando la utilidad e incremento de la utilización que brindaría la implementación de los proyectos de mejora estudiados.

Se debe realizar la validación periódica de las demoras registradas por el sistema de gestión de flota con el objetivo de tener una data precisa.

Realizar la capacitación a los operadores nuevos para que tengan conocimiento del concepto de cada demora y estas puedan ser registradas correctamente en el sistema, haciendo uso de los dispositivos tecnológicos que se encuentran instalados en el camión.

Luego de implementar los proyectos de mejora se debe realizar el monitoreo mensual de las demoras para detectar cualquier desviación y proceder a corregirlo de forma inmediata.

Realizar el mismo estudio de las demoras para las diferentes flotas de equipos que tiene la operación (carguío, auxiliares y perforación), identificar las demoras que tienen mayor cantidad de horas acumuladas y elaborar planes de mejora para reducir dichas demoras e incrementar la utilización efectiva.

Elaborar reportes de control que se entreguen de forma diaria a la jefatura de operaciones mina, donde se detalle la cantidad de horas acumuladas por demora.

Referencias bibliográficas

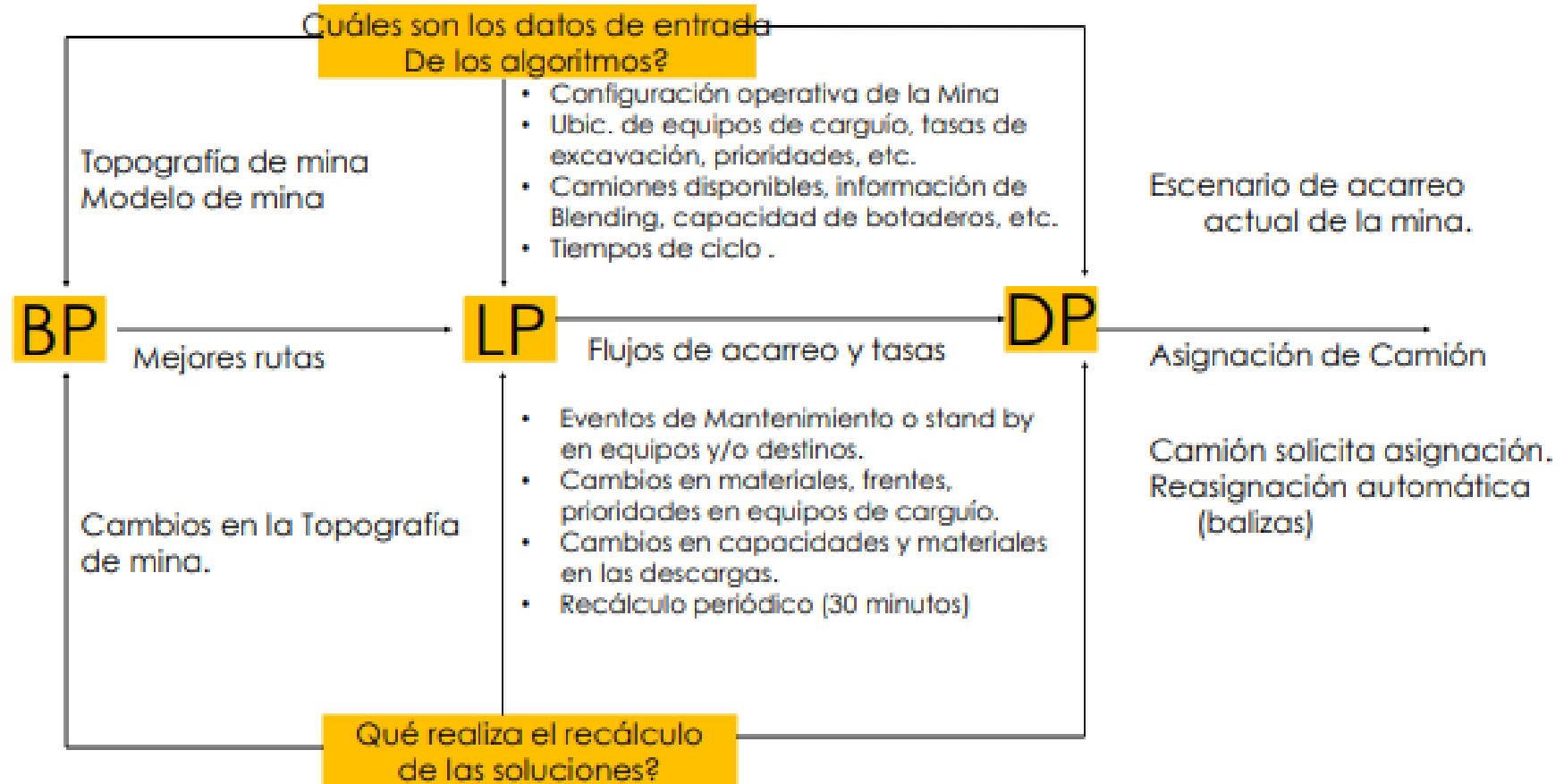
- Álvarez, V. (2015). *Cálculo de la productividad de equipos de acarreo y transporte – Unidad Minera de Arcata*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional San Agustín]. Arequipa. Perú.
- Brian, V. (2019). *Optimización de la productividad de acarreo de desmonte mediante implementación de fajas transportadoras y chancadoras utilizando la simulación con el software Minehaul en la compañía minera Antamina S.A.* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Moquegua]. Moquegua. Perú.
- Caterpillar (2019), “*Cat Fleet User Manual v5.4*”, United Stated.
- “Cut-Off Grade estimation” Queens University, consultado el 15 de mayo, 2019.
http://minewiki.engineering.queensu.ca/mediawiki/index.php/Cut-off_grade_estimation
- Darling, P. (2011) *SME Mining Engineering Handbook*. 3 edition. EEUU.
- Fuentes, J. (2000). *Manual de Rendimiento Caterpillar*. 31 edición. Peoria, Illinois, EE.UU. p.163 - 221.
- Histórico del precio de Cobre*. (2000, 10 enero). Investing.com. Recuperado 25 de julio de 2021, de <https://es.investing.com/commodities/copper-historical-data>
- Mauricio, G. (2015). *Mejoramiento continuo en la gestión del ciclo de acarreo de camiones en minería a tajo abierto en Antamina, Cerro Verde, Toquepala, Cuajone, Yanacocha, Alto Chicama, Las Bambas, Cerro Corona, Antapaccay y Pucamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Lima. Perú.
- Universidad Mayor de San Marcos. (2016). “*Metodología de la investigación científica*”. Lima, Perú.
- W. Hustrulid & M. Kuchta. (2005). *Open Pit Mine Planning & Design*. EEUU: Taylor & Francis.

Anexos

Anexo 1: Matriz de Consistencia

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
<p>Problema general:</p> <p>¿La reducción de las demoras operativas incrementan la productividad de los equipos de acarreo en minas a tajo abierto?</p>	<p>Objetivo general:</p> <p>Evaluar el incremento de la productividad de la operación al reducir las demoras operativas de la flota de acarreo en minas a tajo abierto.</p>	<p>Hipótesis general:</p> <p>El análisis de las demoras operativas permitirá incrementar la productividad de la flota de equipos de acarreo en minas a tajo abierto.</p>	<p>Variables independientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Costo por tonelada Indicador: \$/Tn - Tiempo en Stand by Indicador: hr - Tiempo demora Indicador: hr - Tonelaje movido Indicador: ton/yr - Mineral enviado a chancadora Indicador: ton/yr - Inversión Indicador: \$ <p>Variables dependientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Disponibilidad Indicador: % - Utilización efectiva Indicador: % - Break even Cutoff grade Indicador: %Cu/Tn 	<p>Tipo de investigación: Descriptiva</p> <p>Nivel de investigación: Correlacional</p> <p>Método: Cuantitativo</p>
<p>Problema específico:</p> <p>1. ¿La reducción de las demoras logra un impacto positivo en la productividad de las operaciones en minas bajo el método de explotación a tajo abierto?</p> <p>2. ¿Cuál es la relación entre la reducción de las principales demoras existentes en la operación minera y la utilización de la flota de acarreo?</p>	<p>Objetivos específicos:</p> <p>1. Determinas el porcentaje de reducción de las demoras como consecuencia del análisis de las demoras operativas.</p> <p>2. Evaluar el impacto económico que genera el análisis de las demoras en la flota de acarreo</p> <p>3. Evaluar el incremento de la utilización en la flota de acarreo.</p> <p>4. Simular los resultados anuales que se podrían obtener como resultado del análisis de las demoras operativas.</p>	<p>Hipótesis específica:</p> <p>1. La reducción de las demoras operativas influye directamente en la productividad del equipo, lo cual disminuye el costo por tonelada movida.</p> <p>2. La reducción del costo por tonelada movida incrementa el beneficio económico de la empresa y por lo tanto es posible invertir en proyectos de mejora que harán sostenible la reducción de las demoras operativas en la flota de acarreo.</p> <p>3. Al tener un menor costo por tonelada movida, el valor del Cut Off grade se verá afectado, como se sabe un menor valor de Cut Off grade permitirá evaluar la posibilidad de incrementar las reservas con mineral de baja ley.</p>		

Anexo 2: Algoritmo de optimización en un sistema de gestión de flota



Anexo 3: Servicios necesarios en el sistema de gestión de flota Minestar Fleet

Minestar Fleet se inicia cuando los 10 servicios del sistema estén listos, se detalla la tarea que realiza cada uno de los servicios:

- M*CommsServer – Recibe y distribuye mensajes TMAC hacia y desde la red de campo.
- M*FsbServer – Proporciona una infraestructura de colas para los mensajes.
- M*GeoServer – Proporcionar una vista del sistema de información geográfica del modelo de mina.
- M*MineTracking – El proceso central de MineStar Fleet que se conecta a la base de datos y a todos los demás componentes.
- M*StandardJobExecutor – Realiza los trabajos de procesamiento masivo, tanto inmediatos como programados.
- M*CyclesKpiSummaries – calcula el contenido del almacén de datos de resúmenes que se utiliza para generar informes.
- M*CycleGenerator – Procesa mensajes de la red de campo para determinar cuándo las máquinas han completado ciclos y los atributos de esos ciclos.
- M*CommsController – Goals Realiza los cálculos necesarios para determinar la asignación automática dadas a los camiones y alinearlos con el objetivo de producción.
- M*AssignmentServer – Realiza los cálculos necesarios para determinar las asignaciones automáticas asignadas a los camiones para alinearse con los objetivos de producción.
- M*Jetty – Proporciona servicios web.

Anexo 4: Plano de mina y rutas de acarreo

